

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra konstrukcí

Zastřešení bazénové haly ze dřeva a materiálů na jeho bázi

The roof construction of swimming pool hall of wood and wood based materials

Student:

Bc. Kateřina Doudová

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Kristýna Vavrušová, Ph.D.

Ostrava 2013

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Kateřina Doudová**

Studijní program: N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3607T037 Konstrukce staveb

Téma: **Zastřešení bazénové haly ze dřeva a materiálů na jeho bázi**
The roof construction of swimming pool hall of wood and wood based materials

Zásady pro vypracování:

- 1) konstrukční systémy zastřešení bazénových hal;
- 2) specifika a normové požadavky zastřešení bazénových hal;
- 3) návrh a statický posudek zastřešení bazénové haly.

Seznam doporučené odborné literatury:

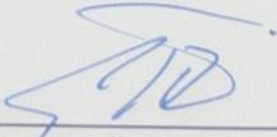
- 1) ČSN EN 1990, Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí;
- 2) ČSN EN 1995-1-1, Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby;
- 3) ČSN 73 0540-1 - Tepelná ochrana budov - Část 1: Terminologie;
- 4) ČSN 73 0540-2 - Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky;
- 5) ČSN 73 0540-3 - Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin;
- 6) ČSN 73 0540-4 - Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

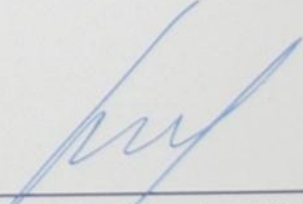
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Kristýna Vavrušová, Ph.D.**

Datum zadání: 28.02.2013

Datum odevzdání: 02.12.2013


prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Darja Kubečková, Ph.D.
děkanka fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 2. prosince 2013

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 2. prosince 2013

.....

podpis studenta

Anotace diplomové práce

DOUDOVÁ, Kateřina, *Zastřešení bazénové haly ze dřeva a materiálů na jeho bázi*, Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí, 2013.

Vedoucí práce: Ing. Kristýna Vavrušová, Ph.D.
Počet stran: 183 stran + přílohy + výkresová dokumentace
Rok obhajoby: 2013

Náplní diplomové práce je návrh bazénové haly, jak po stránce provozní včetně dispozice objektu, tak zejména z hlediska statického, hlavně tedy návrh a statický posudek nosné konstrukce zastřešení bazénové haly ze dřeva a materiálů na jeho bázi. Na základě vypracovaných rešerší stávajících objektů krytých bazénů a poznatků z příslušných předpisů, vyhlášek a norem, je navrženo půdorysné uspořádání a provozní dispozice objektu. Při návrhu byla snaha o vytvoření jednoduché formy stavby a jejího zastřešení. Objekt je obdélníkového půdorysu s pultovou střechou, jejíž nosnou konstrukcí tvoří obloukové vazníky z lepeného lamelového dřeva. Bazénová hala je funkčně rozdělena do třech podlažních částí, odpovídajících provozním a technologickým celkům. Provozní část včetně masážního centra, saunového centra a tělocvičny je situovaná na jednu polovinu objektu ve vyšší části přes dvě nadzemní podlaží. Samostatná bazénová hala je komponována jako převýšený prostor přes obě nadzemní podlaží provozní části ve druhé polovině objektu. Technologická část se nachází v podzemní části pod objektem. Základní rastr půdorysného uspořádání a nosné konstrukce zastřešení byl navržen na osovou vzdálenost 5m. Od tohoto faktu se odvíjí další postupy návrhu. Konečný návrh nosné konstrukce zastřešení byl vymodelován ve výpočetním programu Scia Engineer. Hlavní část diplomové práce obsahuje statický posudek jednotlivých nosných prvků na základě výstupů z výpočetního programu. Provozní a půdorysné uspořádání a konstrukce zastřešení odpovídá platným technickým požadavkům, vyhláškám a normám.

Klíčová slova: Bazénová hala
Dřevěná konstrukce zastřešení
Lepené lamelové dřevo
Vazník
Vaznice
Ztužení

Annotation of the Thesis

DOUDOVÁ, Kateřina, *The roof construction of swimming pool hall of wood and wood based materials*, Vysoká škola Báňská – Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering, Department of structures, 2013.

Thesis head: Ing. Kristýna Vavrušová, Ph.D.
Number of pages: 183 pages + attached file + drawings
Year of defence: 2013

The aim of thesis is to design pool hall, both operational layout of the building and mainly design and static assessment of supporting structure of pool's roof made from wood and wood-based products. Based on the developed retrieval of existing buildings and knowledge of relevant laws, regulations and standards, the layout of the building and operational dispositions of building were designed. The purpose was to make simple form of construction and its roofing. The building is rectangular in shape with a shed roof, the supporting structure consists of arched trusses made of laminated wood. The pool hall is functionally divided into three storey sections, corresponding to the operational and technological units. The operating part including massage center, sauna area and gym, is located on one half of the object in the upper part over two floors. Separate pool hall is composed as banked space over two floors operating in the second half of the object. The technological part is located in the underground part of the building. The basic grid layout and floor plan of the supporting structure has been designed for axial distance of 5m. From this fact depends on procedures proposal. The final design of the supporting structure was modeled in a computer program Scia Engineer. The main part of the thesis contains a static assessment of individual structural elements based on the results of the calculation program. Operating and layout of a roof structure complies with the applicable technical requirements, decrees and standards.

Key words: Pool hall
 The wooden roof structure
 Glued laminated timber
 Wooden truss
 Wooden purlins
 Bracing structure

OBSAH DIPLOMOVÉ PRÁCE

1	ÚVOD	10
1.1	Všeobecný úvod	10
1.2	Stavby ze dřevěných materiálů a materiálů na bázi dřeva	11
1.3	Zastřešení budov dřevěnou konstrukcí	11
2	KONSTRUKČNÍ SYSTÉMY ZASTŘEŠENÍ HALOVÝCH OBJEKTŮ	13
2.1	Přehled nosných systémů střech nad velkým rozpětím – objekty halového a velkoobjemového typu	13
2.2	Nosná konstrukce a její funkce	13
2.3	Konstrukční systémy halových a velkoobjemových objektů – všeobecné řešení	13
2.3.1	Konstrukční soustavy namáhané převážně na ohyb	14
2.3.2	Konstrukční soustavy převážně tlačené	16
2.3.3	Konstrukční soustavy převážně tažené	20
2.4	Prostorová tuhost halových a velkoobjemových objektů	23
3	KONSTRUKČNÍ SYSTÉMY ZASTŘEŠENÍ BAZÉNOVÝCH HAL	25
3.1	Bazénové haly - úvod	25
3.2	Konstrukční systémy zastřešení bazénových hal – ze dřeva a materiálů na jeho bázi	25
3.2.1	Konstrukční systémy zastřešení bazénových hal namáhané převážně na ohyb ..	26
3.2.2	Konstrukční systémy zastřešení bazénových hal převážně tlačené	38
4	SPECIFIKA A NORMOVÉ POŽADAVKY ZASTŘEŠENÍ BAZÉNOVÝCH HAL	41
4.1	Výška střešní konstrukce nad hladinou vody	41
4.2	Zastřešení s velkým rozpětím	41
4.3	Odolnost proti zatížení	41
4.4	Kvalita vnitřního vzduchu, vzduchotechnika krytých bazénů	42
4.5	Tepelná ochrana budov krytých bazénů	42
4.6	Osvětlení krytých bazénů	43
4.7	Materiál nosných konstrukcí zastřešení bazénových hal	43
4.8	Odolnost konstrukčních prvků proti vlhkosti	43
4.9	Přeprava a montáž nosných konstrukčních prvků	44
5	LEPENÉ LAMELOVÉ DŘEVO NA ZASTŘEŠENÍ BAZÉNOVÝCH HAL ...	45
6	PRŮVODNÍ ZPRÁVA	46

6.1	Zadání.....	46
6.2	Popis bazénové haly	46
6.3	Situování haly	47
6.4	Dispoziční řešení.....	48
6.5	Konstrukční řešení	49
6.6	Varianty a myšlenkový pochod návrhu konstrukčního řešení zastřešení objektu	49
6.6.1	VARIANTA Č. 1 – Vaznice s roztečí 1 m s podporou v bazénové části	50
6.6.2	VARIANTA Č. 2 – Vaznice s roztečí 2 m s podporou v bazénové části	51
6.6.3	VARIANTA Č. 3 – Vaznice s roztečí 2 m bez podpory v bazénové části	52
6.6.4	VARIANTA Č. 4 – Vaznice s roztečí 2 m, se vzpěrami a s podporou v bazénové části	54
6.7	Vyhodnocení variant	55
6.8	Popis zvolené navržené konstrukce	55
6.8.1	Popis konečné geometrie konstrukce zastřešení	55
6.8.2	Zatížení.....	56
6.8.3	Střešní plášť	57
6.8.4	Vaznice.....	57
6.8.5	Krajní vaznice	58
6.8.6	Vazníky	58
6.8.7	Ztužení konstrukce – táhla a rozpěry	58
6.8.8	Kotvení prvků	59
6.9	Ochrana konstrukčních prvků	60
7	NÁVRH A STATICKÝ POSUDEK ZASTŘEŠENÍ BAZÉNOVÉ HALY	61
7.1	Schéma konstrukce.....	61
7.2	Výpočet v programu Scia Engineer 2013	63
7.3	Výpočetní model konstrukce	63
7.4	Vstupní údaje – Zatížení konstrukce.....	64
7.4.1	Stálé zatížení	65
7.4.1.1	Vlastní tíha konstrukce	65
7.4.1.2	Střešní plášť	65
7.4.1.3	Osvětlení, spojovací prostředky, vzduchotechnika	66
7.4.1.4	Celkové stálé zatížení	66
7.4.1.5	Ostatní stálé zatížení	66
7.4.2	Proměnná zatížení	66

7.4.2.1	Užitné zatížení	66
7.4.2.2	Zatížení sněhem	66
7.4.2.3	Zatížení větrem	67
7.5	Kombinace zatěžovacích stavů	74
7.6	Výpis zatěžovacích stavů	75
7.7	Mezní stav únosnosti - kombinace	76
7.8	Mezní stav použitelnosti - kombinace	77
7.9	Posouzení vybraných prvků a spojů	78
7.9.1	STŘEŠNÍ VAZNICE	79
7.9.2	KRAJNÍ VAZNICE	88
7.9.3	HLAVNÍ VAZNÍK	98
7.9.4	ZTUŽUJÍCÍ KONSTRUKCE	113
7.9.4.1	STŘEŠNÍ OCELOVÉ TÁHLO	114
7.9.4.2	ROZPĚRA	116
7.9.5	KOTEVNÍ SPOJE	126
7.9.5.1	PŘÍPOJ DŘEVĚNÝCH VAZNIC NA VAZNÍK	126
7.9.5.2	PŘÍPOJ OCELOVÉHO TÁHLA NA VAZNÍKY	136
7.9.5.3	PŘÍPOJ A ULOŽENÍ VAZNÍKU NA ŽELEZOBETONOVOU DESKU ..	143
7.9.5.4	VZÁJEMNÝ PŘÍPOJ OBOU VAZNÍKŮ A JEJICH ULOŽENÍ NA ŽB STĚNU	154
7.9.5.5	PŘÍPOJ A ULOŽENÍ VAZNÍKU NA ŽELEZOBETONOVOU NOSNOU STĚNU	166
8	ZÁVĚR	178
	Poděkování	179
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ODKAZŮ	180
	SEZNAM POUŽITÝCH NOREM	181
	POUŽITÝ SOFTWARE	182
	SEZNAM VÝKRESŮ	182
	SEZNAM PŘÍLOH	182

1 ÚVOD

1.1 Všeobecný úvod

Cílem diplomové práce je návrh bazénové haly, jak po stránce provozní včetně dispozice objektu, tak zejména z hlediska statického, hlavně tedy návrh a posudek zastřešení bazénové haly z dřevěných materiálů a z materiálů na bázi dřeva.

Inspirace k dispozičnímu řešení, uspořádání provozní části a návrhu nosné konstrukce je nalezena v referenčních stavbách. Na základě těchto poznatků jsou v práci popsány jednotlivé konstrukční systémy zastřešení halových a velkoobjemových objektů, dále pak samostatné bazénové haly. Vybrány jsou ty nejvhodnější varianty, které jsou použity při návrhu.

Navrhovaná hala je situovaná do města Bystřice pod Hostýnem. Z tohoto faktu při návrhu vyplývají sněhové a větrné oblasti a ostatní náležitosti. Lokace bazénové haly je navržena do sídelní struktury města v těsné blízkosti základní školy a dětského domova, z důvodu dostupnosti převážně dětmi v rámci školní tělesné výchovy.

Při návrhu byla snaha o vytvoření jednoduché formy stavby a jejího zastřešení. Bazénová hala je funkčně rozdělena do třech podlažních částí, odpovídajících provozním a technologickým celkům. Provozní část se rozkládá přes dvě nadzemní podlaží. Na tuto část tedy přes obě podlaží navazuje samostatná bazénová hala. Technologická část s vodním hospodářstvím, elektrorozvodna a strojovna se nachází v podzemní části pod objektem.

Krytý bazén je vystaven tak, aby splnil podmínky jak pro plavce, tak pro neplavce. Součástí je plavecký bazén s plaveckými dráhami pro případné školní závody, ale i bazén pro neplavce a malé děti a odpočinková zóna. Dále jsou součástí haly prostory pro masážní centrum, saunové centrum s vířivkou a malá tělocvična pro fitness sporty. Kapacity veškerého zázemí (šatny, hygienická zařízení, atd.) jsou navrženy v souladu s existujícími normami a vyhláškami. Především ale s ohledem na potřeby a spokojenost samotného člověka.

V hlavní části diplomové práce je podrobný návrh a statické posouzení jednotlivých prvků a částí zastřešení bazénové haly na základě výstupů z výpočetního programu Scia Engineer 2013. Konstrukce je navržena s ohledem na hospodárné využití materiálů. Konstrukce, její návrh a posudek, vyhovuje platným normám a vyhláškám.

1.2 Stavby ze dřevěných materiálů a materiálů na bázi dřeva

Stejně jako kámen provází dřevo člověka při výstavbě obydlí po celou jeho civilizační historii. Při posuzování dřeva jako stavebního materiálu z hlediska komplexu mechanických, tepelně-technických, estetických vlastností a jeho dopad na životní prostředí a ekonomika při výstavbě, se nám zřejmě nepodaří najít konkurenci u jiných materiálů. Vlastnosti přírodního dřevěného materiálu, jako jsou nízká tepelná akumulace, schopnost přijímat vlhkost z prostředí a naopak uvolňovat ji do suchého prostředí, schopnost udržovat přijatelné klima, vynikající akustické vlastnosti, ale i příjemná vůně, estetika materiálu, příjemnost na dotek, jsou pro pohodu člověka a jeho žití vlastnosti příjemné a nezbytné. Hlavně z hlediska tepelně-technických vlastností a vlhkostního režimu je dřevo velmi vhodné pro realizaci bazénových hal. Což mě vedlo k rozmyšlení nad konstrukcí své bazénové haly. Dřevěné stavby, v nichž jsou přiznány dřevěné nosné konstrukce, mají velmi kladný estetický náboj. Dřevo je materiál poskytující volnost pro navrhování a konstruování, umožňuje realizovat mnohé tvary. Moderní dřevěné stavby jsou trvanlivé, dají se nejen snadno udržovat, ale i upravovat a rekonstruovat. Všechny moderní stavby na bázi dřeva jsou architektonicky zajímavé a nezaostávají za současnými vymoženostmi techniky. Dřevo a výrobky na dřevěné bázi v dnešní době stanovují trendy. [1].

1.3 Zastřešení budov dřevěnou konstrukcí

Prvky uzavírající prostor musí vyhovovat jak z hlediska konstrukčního, tak také požadavkům tepelným, zvukově izolačním a požadavkům požární ochrany. To platí obzvláště pro střechu, protože svou exponovanou plochou je mimořádně vystavena venkovním vlivům. Hlavní funkcí střechy je tedy ochrana vnitřního prostoru před povětrnostními vlivy. Proto, aby střecha bezpečně plnila své funkce, je velmi důležitá vhodná a promyšlená volba nosné konstrukce. Nosná konstrukce střechy totiž slouží k přenesení zatížení z ostatních střešních vrstev, od zatížení sněhu, od zatížení větru a přenesení vlastní tíhy a případného užitného zatížení do svislých nosných prvků. Střecha plní vedle uvedených základních úloh ještě

mnoho dalších funkcí. Je tedy nutné uvést např. architektonicky-formální aspekty pro řešení vnitřních prostorů, ale také pro zapadnutí do krajiny v okolí stavby. Po této stránce získává tvar střechy ten snad nejzávažnější význam. [1].

Dřevo je vhodný materiál používaný jako konstrukční materiál pro zastřešení budov. Má vynikající vlastnosti určené k tomuto účelu. Kromě těch, které jsou popsány v předchozí kapitole (viz kapitola 1.2), jde také o vynikající vlastnosti ze statického hlediska. Dřevo jako konstrukční materiál je velmi porovnatelné s ocelovými konstrukcemi z hlediska navrhování a posuzování daných konstrukcí. Dřevěné konstrukční prvky jsou vhodné zejména pro přenos tahových, tlakových a ohybových namáhání. Dřevo je anizotropní materiál, což znamená, že má rozdílné fyzikální a mechanické vlastnosti v jednotlivých směrech. Na tuto vlastnost dřeva musíme brát ohled. Působí-li například napětí kolmo k vláknům dřeva, vzniká riziko jeho rozštěpení. Dřevo je velmi oblíbené, protože přes svoji vysokou pevnost má nízkou váhu. Proto je vhodné jeho použití na střešní konstrukce. Konstrukce zastřešení tak mohou být použity nad velkým rozpětím. Dřevo je vynikající materiál na zpracování a opracování, proto konstrukční prvky ze dřeva a materiálů na jeho bázi mohou být vyráběny v řadě velikostí a rozměrů. [2].

Na zastřešení budov dřevěnou konstrukcí je mnoho konstrukčních variant, které budou popsány v práci dále.

2 KONSTRUKČNÍ SYSTÉMY ZASTŘEŠENÍ HALOVÝCH OBJEKTŮ

2.1 Přehled nosných systémů střech nad velkým rozpětí – objekty halového a velkoobjemového typu

U halových staveb, ve sportovních areálech a obecně u větších staveb se používají nejrůznější konstrukce zastřešení. Volba konstrukce zcela zásadním způsobem ovlivní architektonický výraz stavby. Existuje spousta konstrukčních variant zastřešení větších objektů. Každý použitý konstrukční systém má ovšem jiné statické vlastnosti a tím i odlišné možnosti řešení tvaru. Je důležité při návrhu sjednotit formu, funkci a konstrukci. Při návrhu zastřešení je nutné vycházet ze statického schématu, které nakonec určí tvarovou koncepci celého díla. [3].

Objekty halového a velkoobjemového typu umožňují vytvářet volný vnitřní prostor. Tohoto prostoru docílíme omezením nebo zcela vyřazením vnitřních podpor. Do halového objektu můžeme zahrnout i vnitřní vestavěná podlaží s různými nároky na užitnou výšku prostor. [3].

2.2 Nosná konstrukce a její funkce

Návrh nosné konstrukce vychází zejména z půdorysných rozměrů dané konstrukce. Důležitým parametrem návrhu je požadované volné rozpětí konstrukce. Podstatné jsou pak také zatížení, působící na konstrukci, zejména stálé zatížení a nahodilé zatížení.

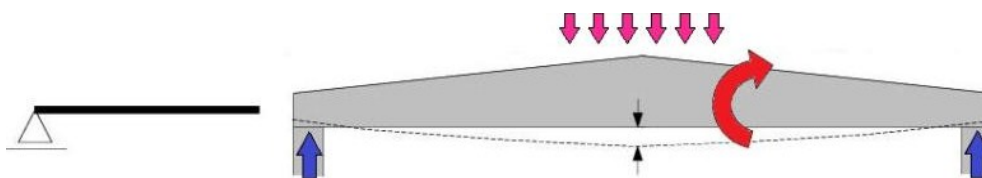
2.3 Konstrukční systémy halových a velkoobjemových objektů – všeobecné řešení

Podstatou návrhu nosné konstrukce zastřešení halového a velkoobjemového objektu je výběr vhodného statického schématu zatížené konstrukce, která má za úkol přenést zatížení do podpor. Z tohoto hlediska pak dělíme konstrukční systémy obsahující ohýbané, tlačené nebo tažené konstrukce.

2.3.1 Konstrukční soustavy namáhané převážně na ohyb

Je-li konstrukce podepřena ve vodorovném směru posuvně, nemůže vzniknout vodorovná reakce, a proto celý moment od vnějšího zatížení musí být přenesen dvojicí vnitřních sil – výslednicí normálových napětí v tažené a tlačené části průřezu. Veškeré zatížení na prostě uloženém prvku je přenášeno ohybovým namáháním uprostřed rozpětí. Je-li nosníková konstrukce v podepření vetknuta (tuhá), vznikne v oblasti podpory ohybový moment, který je přenášen i opěrnou konstrukcí vzniklé rámové soustavy. V důsledku spolupůsobení opěrné konstrukce se snižují ohybové momenty v rámové příčli. [3], (Obr. 1).

Ohýbané konstrukce mají většinou výrobně jednoduchý tvar. Opěrné konstrukce (stěny, sloupy) nejsou namáhány vodorovnou silou.



Obr. 1: Schéma ohýbané konstrukce [3]

Mezi konstrukční soustavy namáhané převážně na ohyb patří:

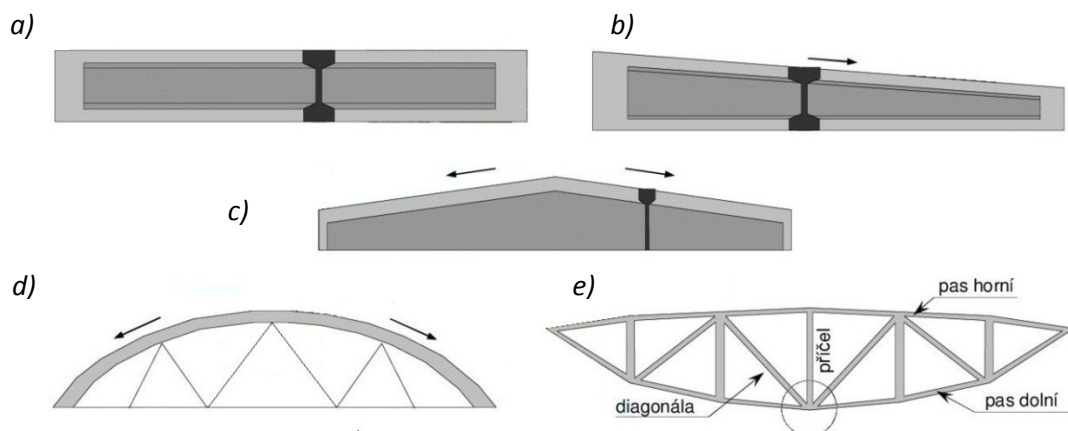
A) Deskové soustavy

Jedná se o konstrukční systém, který lze využít na stavby menšího rozponu. Při vyšších rozponech stoupá konstrukční výška deskového prvku a konstrukce stropu se již stává neekonomickou. Střešní konstrukci mohou tvořit plnostěnné desky, desky s vyztuženými žebry, zalamované lomenicové desky, zvlněné skořepinové dílce, komůrkové tenkostěnné průřezy, příhradové a strukturální deskové konstrukce. Záleží na použitém materiálu a na technologii provádění. [3].

B) Vazníkové soustavy

Vazníkové soustavy jsou soustavy, které je možné použít na velký rozpon. Záleží také na daném typu vazníku. Střešní konstrukce vazníkové soustavy sestává především ze střešních vazníků ukládaných na sloupy, průvlaky nebo na stěny. Rozlišujeme vazníkové soustavy z plnostěnných vazníků, příhradových vazníků, prolamovaných vazníků,

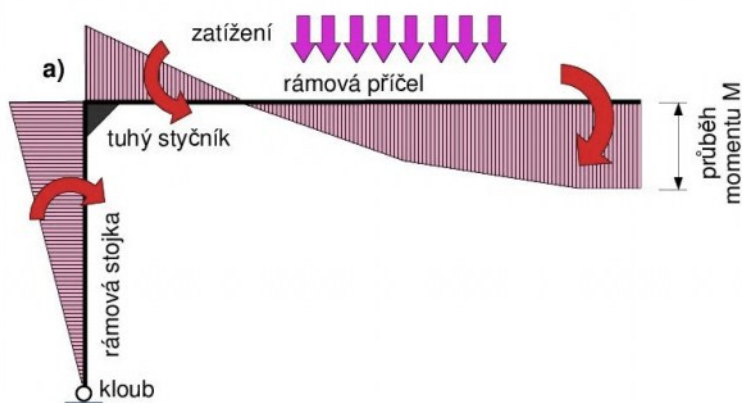
girlandových vazníků. Podle tvaru dělíme vazníky na přímopasé, pultové, sedlové, lomené, obloukové. [3]), (Obr. 2).



Obr. 2: Tvarové řešení vazníků [3]; a) přímopasý vazník, b) pultový vazník, c) sedlový vazník, d) obloukový vazník, e) lomený vazník

C) Rámové soustavy

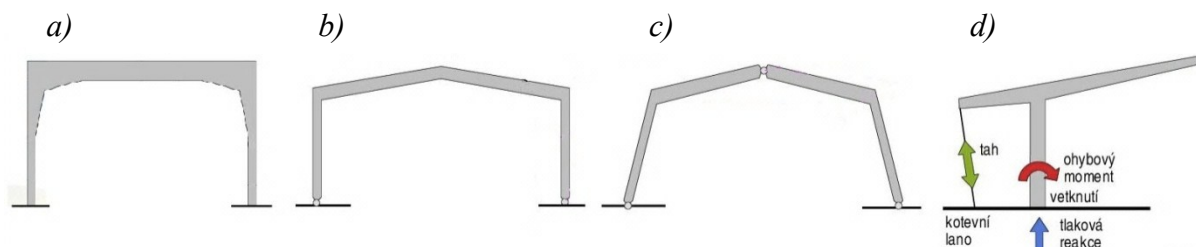
Rámové soustavy jsou takové soustavy, které mají vetknutí střešního nosníku do sloupové podpory v rámovém rohu. Vytvoří se tzv. tuhé spojení. Rámový roh způsobí zmenšení ohybových momentů uprostřed rozpětí nosníku. V důsledku tuhého spojení se přenáší rámový moment do rámové stojky. Nevýhodné namáhání stojek ohybem lze částečně eliminovat návrhem spojitě rámové konstrukce. [3], (Obr. 3).



Obr. 3: Schéma rámového nosníku [3]

Průběh ohybového namáhání v konstrukci je závislý na ohybové tuhosti stojky a příčle, je ovlivňován také náběhy. Pak se koncentruje v místech s vyšší ohybovou tuhostí. [3].

Ze statického hlediska tedy můžeme získat vetknutý rám. Další statickou variantou je dvojklobový rám. Dvojklobový rám vznikne vložením kloubů do patek, čímž se zmenší citlivost na deformace a pokles základů. Dále můžeme konstrukci ze statického hlediska navrhnout jako trojklobový rám. Této konstrukce docílíme přidáním kloubu i do příčle. Poslední variantou rámové konstrukce je konzolový rám. [3], (Obr. 4).

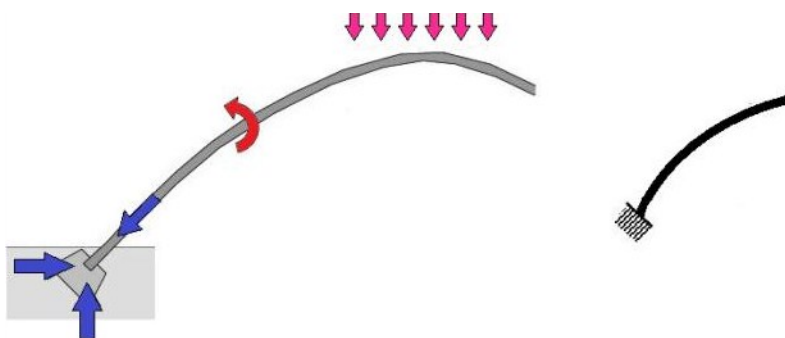


Obr. 4: Typy rámových konstrukcí ze statického hlediska [3]; a) vetknutá rámová konstrukce, b) dvojklobový rám, c) trojklobový rám, d) konzolový rám

Podle výrobního materiálu a technologie provádění lze pak rámy dělit na monolitické, prefabrikované, skořepinové a lomenicové, plnostěnné, příhradové.

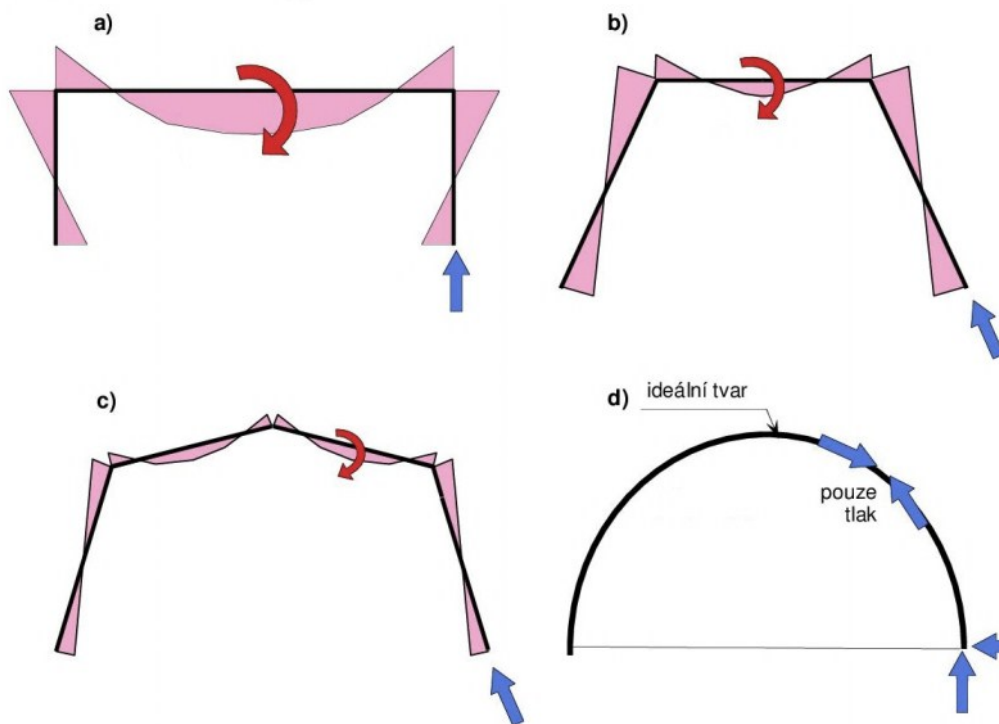
2.3.2 Konstrukční soustavy převážně tlačené

Zamezíme-li vodorovnému posunu konstrukce, vznikne v podpoře vodorovná tahová rozpěrová síla. Její velikost je závislá na nadvýšení konstrukce. Ohybový moment je přenášen dvojicí sil – osovou a vodorovnou reakcí. Rameno těchto sil je vzepětí konstrukce. Je-li tvar obloukové či plošné konstrukce navržen ve tvaru tlakové čáry působícího zatížení, přenáší konstrukce pouze tlaková zatížení. Ale většinou vnější zatížení bývá proměnné, tvar konstrukce ale stálý. Z toho vyplývá, že část je přenášena ohybovým momentem. Konstrukci je třeba navrhnout dle převládajícího zatížení vlastní tíhou a sněhem. Vzniká tedy parabolický tvar tlačené konstrukce. [3], (Obr. 5).



Obr. 5: Schéma tlačené konstrukce [3]

Ke statickému působení tlačené konstrukce lze dospět tvarováním rámové konstrukce. Nejprve rozkročením stojek, poté zalamováním příčle lze snižovat ohybová namáhání rámu až k nulové hodnotě při parabolickém tvaru rámu. [3], (Obr. 6).



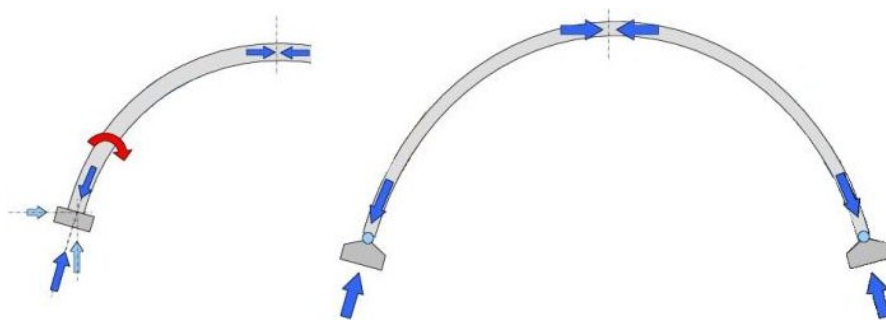
Obr. 6: Přechod z rámové ohýbané konstrukce do konstrukce tlačené [3]; a) rámová konstrukce, b) rozkročení stojek rámu, c) rozkročení stojek a zalomení příčle, d) kruhový či parabolický oblouk

Mezi konstrukční soustavy namáhané převážně tlakem patří:

A) Obloukové soustavy

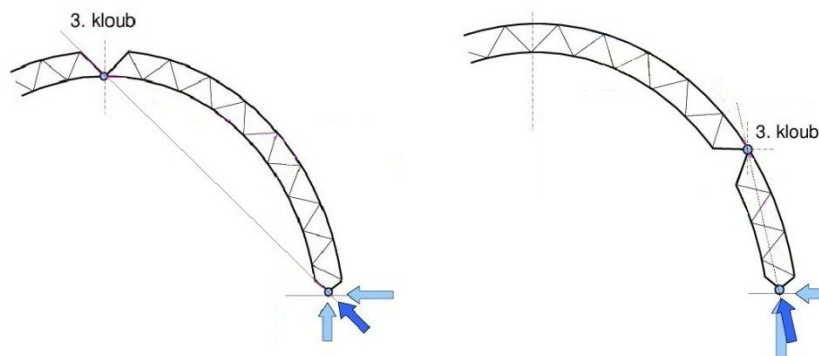
Tlačená oblouková konstrukce je dimenzována na vzpěrný tlak v kombinaci s ohybem. Vybočení v rovině oblouku brání tuhost průřezu konstrukce. Vybočení z roviny oblouku brání tuhost střešní tabule i vlastní ohybová tuhost. [3].

Mezi jedno ze statických řešení patří vetknutý oblouk. Vetknutí zajišťuje lepší statické vy
a) velmi citlivá na pokles podpor a objemové a teplotní změny. Další variantou pak je dvojklobový oblouk. Této konstrukce docílíme vložení kloubů do oblasti podpor. Konstrukce je méně citlivá na namáhání od objemových změn nebo sedání podpor. [3], (Obr. 7).



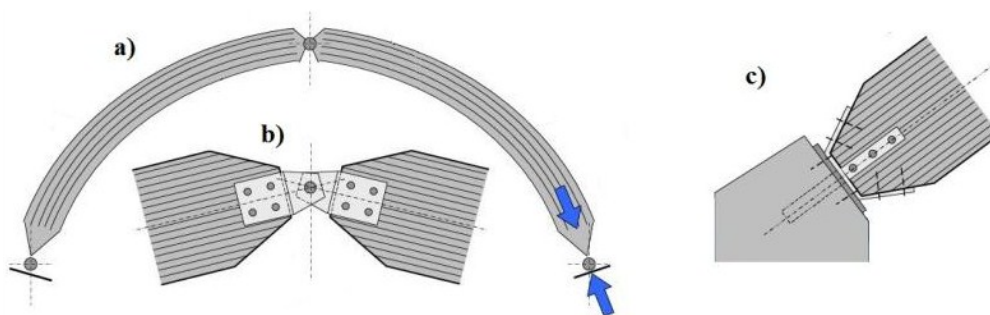
Obr. 7: Typy tlačených konstrukcí ze statického hlediska [3]; a) vetknutý oblouk, b) dvojklobový oblouk

Dalším řešením je trojklobový oblouk. Vložením dalšího kloubu na do vrcholu oblouku zcela eliminujeme vliv objemových změn a pokles podpor na danou konstrukci. Jednou z variant je také posunutí třetího kloubu mimo vrchol oblouku. Tímto posunem lze upravit směr podpovrchových reakcí. [3], (Obr. 8).



Obr. 8: Typy tlačených konstrukcí ze statického hlediska – trojklobové oblouky [3]

Lze navrhovat plnostěnné, nebo příhradové obloukové konstrukce. (Obr. 9)

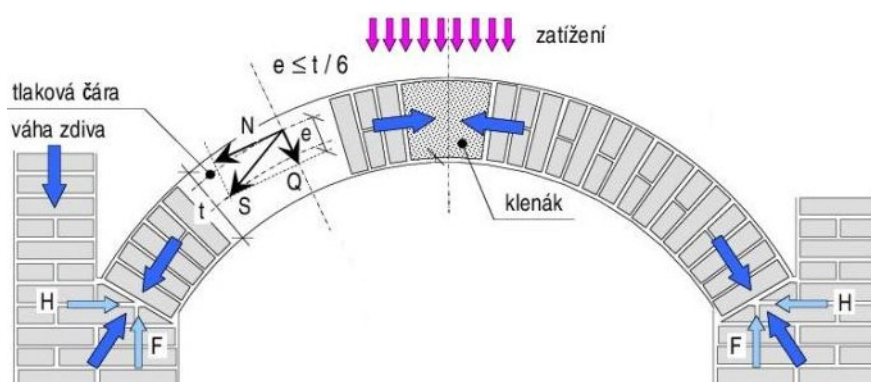


Obr. 9: Dřevěný plnostěnný trojklobový oblouk [3]; a) trojklobový oblouk, b) vrcholový kloub oblouku c) uložení na základovou konstrukci

B) Plošně tlačené konstrukce

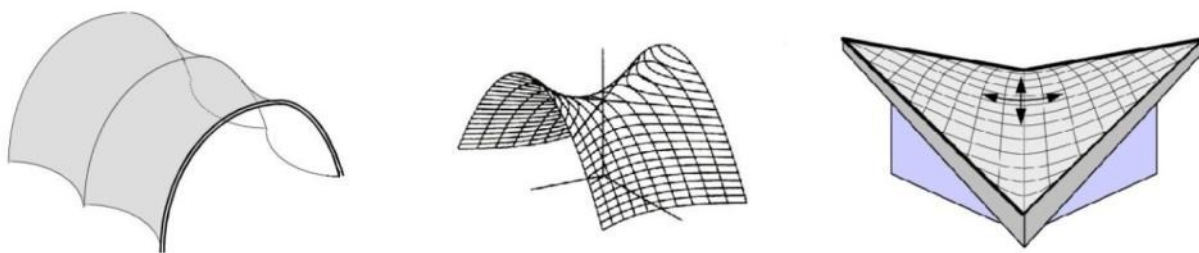
Mezi plošně tlačené konstrukce patří klenby a skořepiny.

Klenby jsou tlačené konstrukce, které jsou namáhané vzpěrným tlakem a ohybem. Toto namáhání je přenášeno přepětím průřezu vlivem převládajícího svislého zatížení. Klenba má omezené možnosti přenosu bodových zatížení. Ke správné funkci klenby je podstatný tvar výslednicové čáry od zatížení vlastní tíhou konstrukce. Tento tvar musí zůstat vždy uvnitř jádra průřezu, tj. ve vnitřní třetině výšky. Mezi nejpoužívanější tvary kleneb patří klenba valená a kupole. [3], (Obr. 10).



Obr. 10: Schéma tlačené klenbové konstrukce [3]

Další plošně tlačenou konstrukcí jsou skořepiny. Konstrukce skořepiny bývá velmi subtilní o malé konstrukční tloušťce. Ohybová namáhání skořepiny přenáší pouze v omezené míře. Stabilita tlačných částí skořepiny je zajišťována využitím tvaru konstrukce o dvojí křivosti nebo spolupůsobením s výztužnými žebry a čely skořepin. Mezi základní tvary skořepin patří například krátké a dlouhé válcové skořepiny, rotační skořepiny, a jiné translační plochy různých tvarů. [3], (Obr. 11).

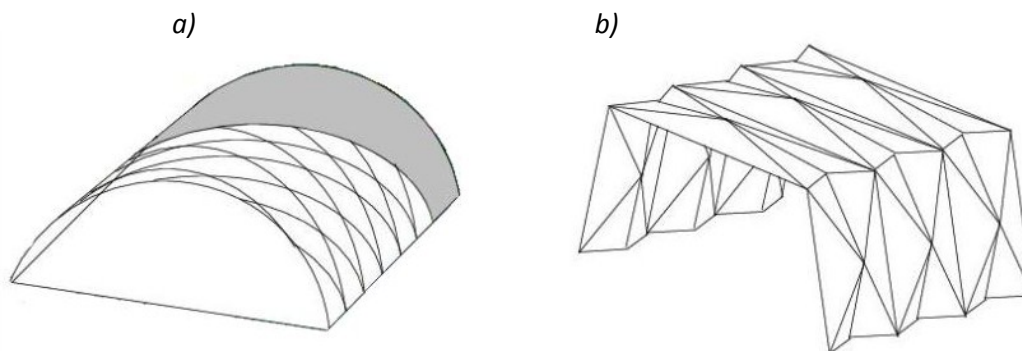


Obr. 11: Příklady tlačných skořepinových konstrukcí [3]

C) Prutové a lomenicové konstrukce

Působení prutových strukturálních soustav je do jisté míry obdobné působení plošných konstrukcí stejného tvaru. Principem prutové struktury je snaha o nahrazení statického působení plošné konstrukce prutovými prvky. [3], (Obr. 12 – a)).

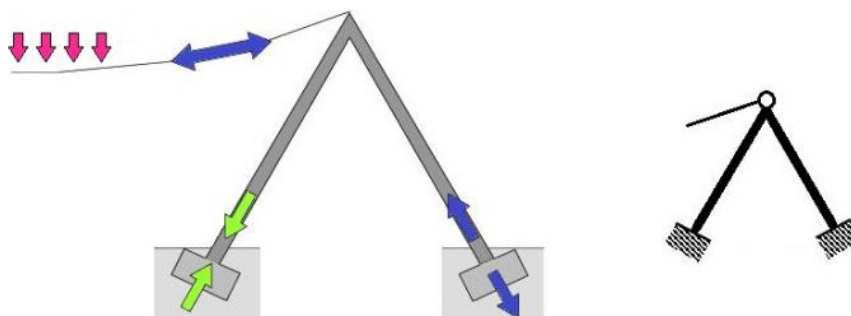
Lomenicové strukturální soustavy jsou tvořeny z plošných trojúhelníkových elementů, které vytvářejí tuhou prostorovou soustavu. [3], (Obr. 12 – b)).



Obr. 12: Prutové a lomenicové tlačené konstrukce [3]; a) prutová konstrukce, b) lomenicová konstrukce

2.3.3 Konstrukční soustavy převážně tažené

Tažená konstrukce nemá ohybovou tuhost. Je nucena se svým tvarem přizpůsobit výslednicové čáře zatížení a veškeré zatížení pak přenáší normálová síla. [3], (Obr. 13).

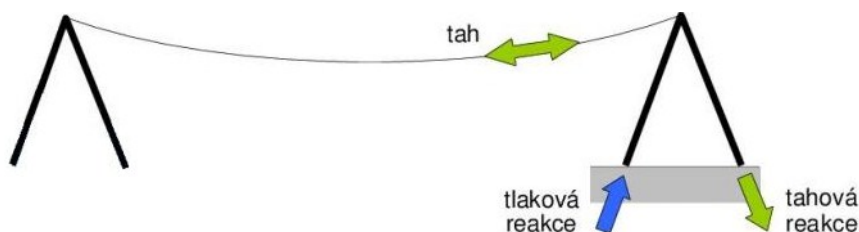


Obr. 13: Schéma tažené konstrukce [3]

Mezi konstrukční soustavy namáhané převážně tahem patří:

A) Visuté soustavy

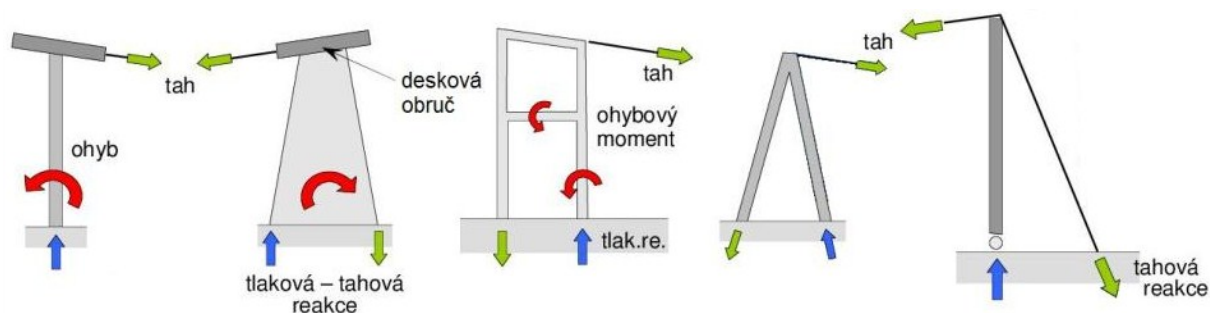
Visuté konstrukce jsou charakteristické malou tvarovou stálostí. Mezi tažené konstrukční systémy visuté patří hlavně konstrukce vazníkové, deskové (skořepiny jednoho a dvojího zakřivení), lanové a membránové. [3], (Obr. 14).



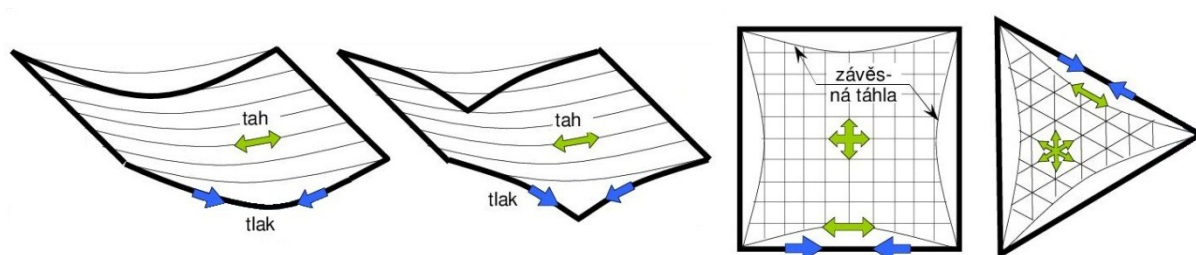
Obr. 14: Schéma visuté tažené soustavy [3]

Jako vazníkové visuté konstrukce můžeme použít konstrukci rámovou, příhradový nosník, plnostěnný nosník, trojkloubový nosník plnostěnný nebo příhradový a polygonový nosník.

Lanové visuté konstrukce mají lanové prvky bez ohybové tuhosti. Tyto prvky mohou být uspořádány paralelně nebo radiálně, v jednovrstvém nebo dvouvrstevném uspořádání. Lanové visuté konstrukce se sestavují z ocelových drátů, nekovových vláken apod., které jsou tedy subtilní bez ohybové tuhosti, jsou tvarem přizpůsobivé výslednicové čáře vnějšího zatížení. Přenos zatížení probíhá prostřednictvím normálové síly v profilu daného vlákna a vodorovnou složkou podporové reakce. [3], (Obr. 15, 16).

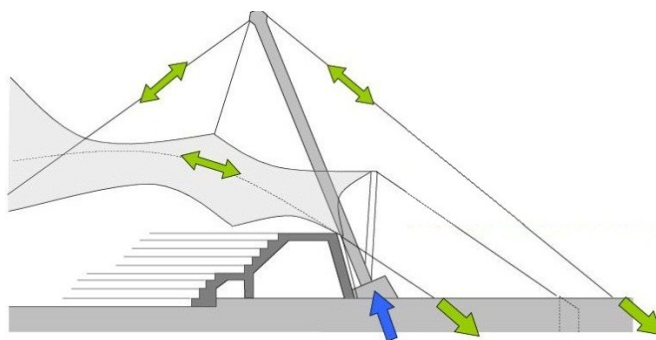


Obr. 15: Varianty zachycení vodorovné reakce u visutého otevřeného systému [3]



Obr. 16: Varianty zachycení vodorovné reakce u visutého uzavřeného systému [3]

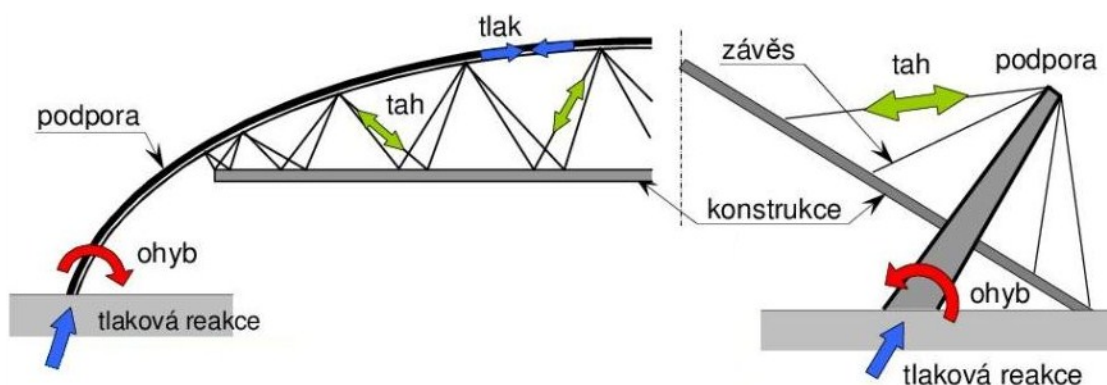
Membránové visuté soustavy mají membránu, která se navrhuje z plošně působící volně zavěšené nebo napjaté tkaniny, plechu, kompozitní textilie apod. Přenáší pouze síly ve střednicové ploše. To znamená, že navozuje membránový stav napětí. [3], (Obr. 17).



Obr. 17: Příklad membránové visuté soustavy [3]

B) Zavěšené soustavy

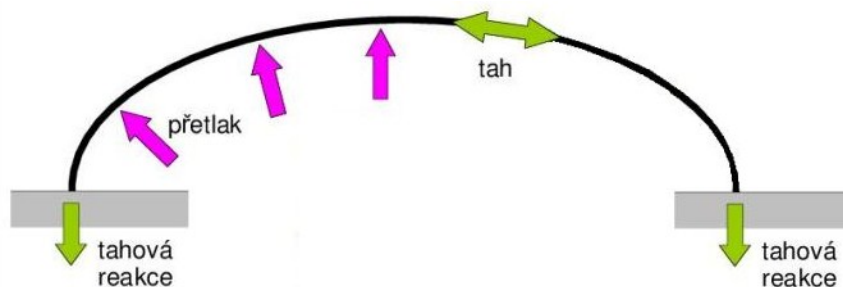
Základním principem konstrukce u zavěšených soustav je zavěšení střešní nosíkové konstrukce pomocí táhel, ukotvených k tlačeným pilotám, obloukům, rámcům apod. Jedná se o víceúrovňový systém připomínající působení tzv. superkonstrukce ve vícepodlažních budovách. Tento systém je proto velice požívaný pro zastřešení velkých rozpětí. [3], (Obr. 18).



Obr. 18: Schéma zavěšená tažená soustavy [3]

C) Pneumatické soustavy

Pneumatické soustavy jsou soustavy nesené přetlakem vnitřního vzduchu. Tyto soustavy jsou tvořeny tenkou membránou, která je předepnutá vnitřním přetlakem. Rozlišujeme dva druhy pneumatických soustav a to soustavy nízkotlaké a vysokotlaké. [3], (Obr. 19).



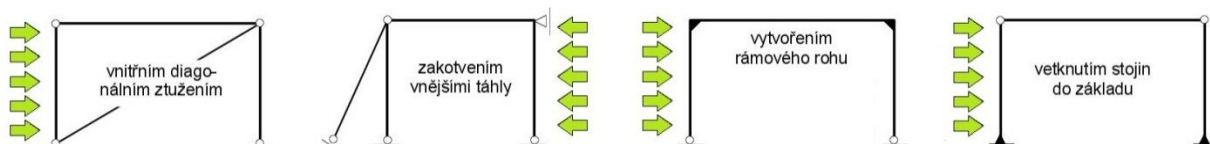
Obr. 19: Schéma pneumatické tažené soustavy [3]

2.4 Prostorová tuhost halových a velkoobjemových objektů

Prostorovou tuhost halových a velkoobjemových objektů zajistíme pomocí ztužení. Ztužení objektu je soubor konstrukčních opatření, která nám zajistí celkovou tuhost objektu. Slouží tedy k přenesení vodorovných zatížení do základů. Jedná se především o účinky zatížení větrem, seizmická zatížení, atd. [3].

Ztužení tedy lze zajistit:

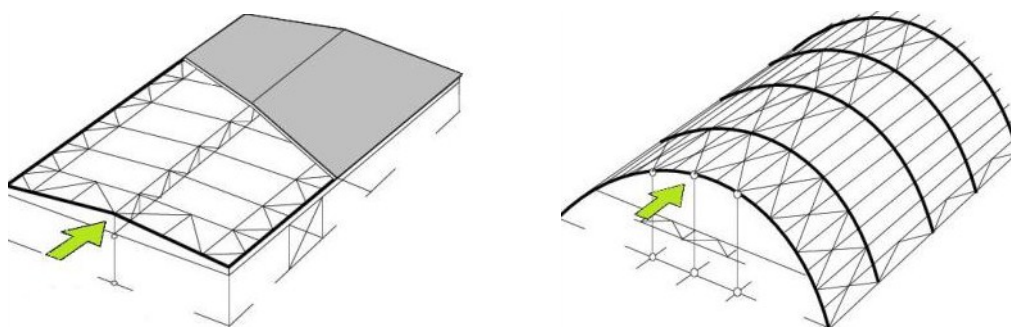
- pomocí vnitřního diagonálního ztužení,
- zakotvením vnějšími táhly,
- vytvořením rámového rohu,
- vetknutím stojin do základu. (Obr. 20)



Obr. 20: Zajištění prostorové tuhosti halových a velkoobjemových objektů [3]; a) vnitřní diagonály, b) vnější táhla, c) rámový roh, d) vetknutí stojin do základu

Je možné navrhovat systémy s tuhou střešní tabulí. U tohoto systému je vodorovné zatížení přenášeno tuhou střešní tabulí. Tuhost střešních tabulí zajistíme tuhým spojením střešních desek. [3].

Můžeme také použít příhradová ztužidla. Příhradová ztužidla jsou tvořena prutovými nosníky smykově propojenými vloženými diagonálními prvky namáhanými na tlak či tah. Umisťují se převážně po obvodě střešní tabule. Při větších rozponech také podél hřebene střechy. [3], (Obr. 21).



Obr. 21: Příhradové zajištění prostorové tuhosti [3]

3 KONSTRUKČNÍ SYSTÉMY ZASTŘEŠENÍ BAZÉNOVÝCH HAL

3.1 Bazénové haly - úvod

Bazénové haly jsou objekty halového typu. Je tedy zapotřebí vytvořit požadovaný volný vnitřní prostor. Bazény rozlišujeme podle účelu do jistých skupin, od kterých se odvíjí velikost potřebné plochy bazénové haly. Bazény jsou objekty určené pro závodní nebo rekreační plavání. Velikost plaveckých a rekreačních bazénů je dána normou. Je tedy nutné vytvořit vnitřní prostor s velkým rozpětím a přitom nejlépe úplně omezit vnitřní podpory konstrukce zastřešení.

Provozy krytých bazénů jsou takové provozy, které vyžadují značnou pozornost zejména z hlediska hygienického. Vždy je zapotřebí zachovávat určitá pravidla dispozičního uspořádání, výškového uspořádání a také materiálového provedení, aby vyhověla všem legislativním předpisům a také uvažovanému provozu.

3.2 Konstrukční systémy zastřešení bazénových hal – ze dřeva a materiálů na jeho bázi

Konstrukční systémy zastřešení bazénových hal vychází z konstrukčních systémů halových objektů (viz kapitola 1.4.3). Dále se tedy budeme zabývat jen konstrukčními systémy bazénových hal ze dřeva a z materiálů na bázi dřeva. Ke každému konstrukčnímu systému přiložím referenční stavbu bazénové haly, kterou jsem si prostudovala, a která se mi stala inspirací k mému návrhu.

Mezi nejčastěji používané konstrukční systémy zastřešení bazénových hal ze dřeva a materiálů na jeho bázi patří hlavně konstrukce namáhané na ohyb a to soustavy s dřevěnými vazníky a rámové konstrukce. Dřevěné vazníky jsou opravdu nejpoužívanější při zastřešení bazénových hal. Zejména pak vazníky z lepeného lamelového dřeva. Mají vysokou odolnost a je možné s nimi zastřešit prostor s velkým rozpětím. Dále jsou pak užívané tlačené soustavy obloukové.

3.2.1 Konstrukční systémy zastřešení bazénových hal namáhané převážně na ohyb

Mezi tyto konstrukční systémy ze dřeva a materiálů na jeho bázi patří především vazníkové soustavy a rámové konstrukce.

A) Soustavy s dřevěnými vazníky

Dřevěné vazníky v těchto soustavách jsou převážně plnostěnné nebo příhradové. Mohou být buď celodřevěné, nebo materiálově kombinované. Jako materiál na plnostěnný vazník se využívá sbíjených prvků, prvků lepených z prken, vodovzdorných překližek nebo dřevotřískových desek. Příhradové vazníky se navrhuji z prken nebo hranolů. [3].

Mezi nepoužívanější materiál patří vazníky z lepeného lamelového dřeva. Tyto nosníky mají vynikající únosnost na velká rozpětí, mají větší odolnost a vykazují mnohem lepší požární bezpečnost.

Průřezy dřevěných vazníků se spojují různými spojovacími prostředky, jako jsou svorníky, hřebíky či vruty, styčnickové ocelové desky hladké nebo s prolisovanými trny, hmoždíky a mnohými dalšími.

Soustava s dřevěnými vazníky, obzvláště z lepeného lamelového dřeva, patří mezi nejpoužívanější konstrukce zastřešení bazénových hal. Na tuto soustavu je možno uvést mnoho příkladů již stojících krytých bazénů.

Krytý bazén Fryčovice (Obr. 22-23)

Krytý bazén ve Fryčovicích je součástí relaxačního centra v menším městě v Moravskoslezském kraji. Jedná se o malý bazén s kapacitou 15 lidí. Rozměry bazénu jsou 12 x 5 m, 3 plavecké dráhy a hloubka 1,3 m. Slouží především pro výuku plavání školních i předškolních dětí. Je ale také hojně využíván i širokou veřejností. Zastřešení bazénové haly je provedeno dřevěnou vazníkovou příhradovou konstrukcí na rozpětí 9 m. Dřevěný příhradový vazník je uložen na zděné nosné konstrukce.

Fotogalerie stavby:



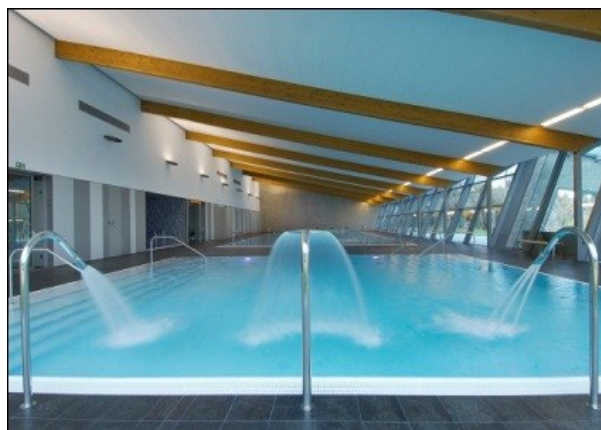
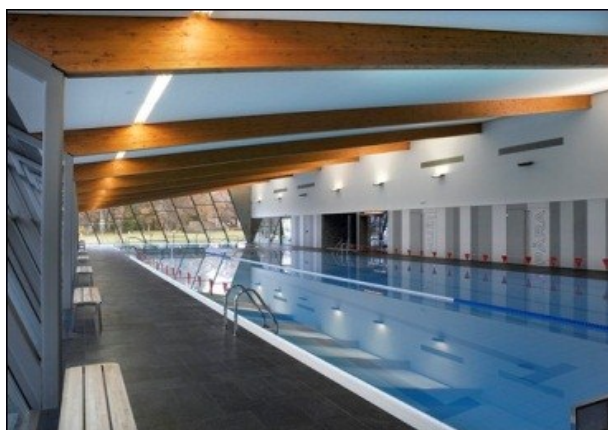
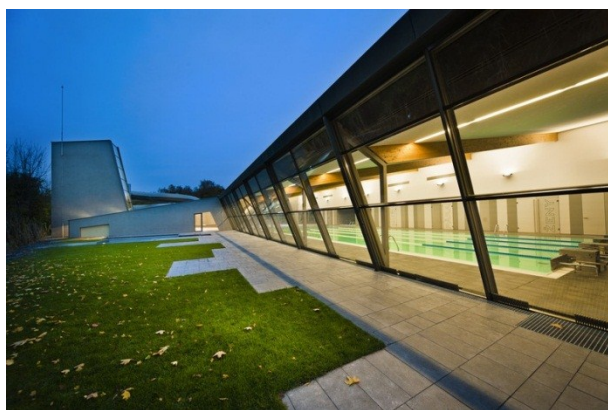
Obr. 22-23: Fotografie stavby krytého bazénu ve Fryčovicích [4]

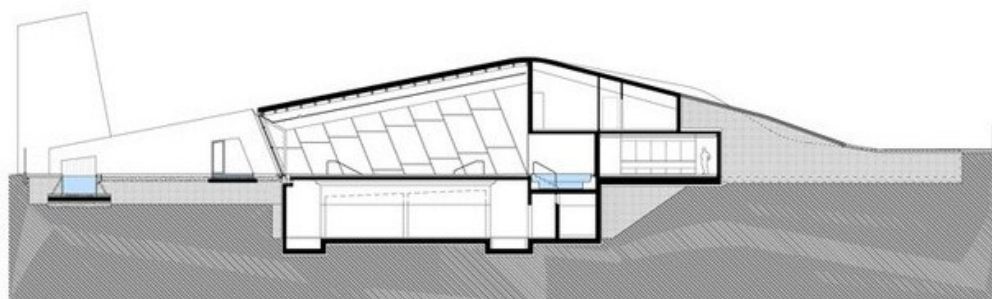
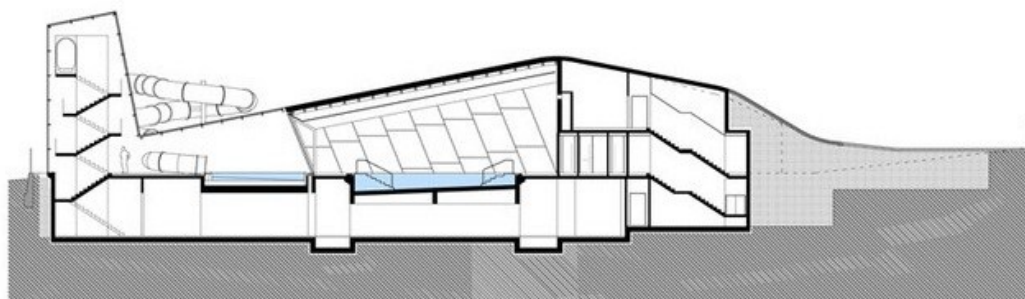
Krytý plavecký bazén Litomyšl (Obr. 24-31)

Krytý plavecký bazén se nachází na svahu Černé hory směrem k městu Litomyšl v místě s novodobou zástavbou sportovních budov. Bazénová hala je funkčně rozdělena do 3 podlažních částí, odpovídajících provozním a technologickým celkům. Bazénová hala obsahuje 25 m dlouhý plavecký bazén s 5 plaveckými dráhami. A také obsahuje neplavecký bazén stejné šířky jako bazén plavecký.

Bazénová hala je komponována jako centrální převýšený prostor přes dvě podlaží. Tento prostor je zastropený šikmou pultovou střechou. Nosnou konstrukci zastřešení tvoří vysoké štíhlé vazníky z lepeného lamelového dřeva, které jsou umístěny do modulových os po 5,0 m. Vazníky jsou podporovány uložením na podélnou střední betonovou stěnu. Na druhém konci jsou uloženy na ocelové šikmé podpory – příhrady trojúhelníkového tvaru. Jedná se o velmi atypicky konstrukční systém kombinovaný z monolitického železobetonu a dřevěné konstrukce střechy s ocelovými prostorovými podporami. Nosnou konstrukcí střešního pláště jsou dřevěné vaznice, které jsou shora uloženy na vazníky a jsou situovány rovnoběžně se hřebenem v osové vzdálenosti maximálně 1,0 m. Nosnou plochou pro plechovou krytinu (titanzinkový plech) je dřevěné bednění z prken. Nad centrální bazénovou halou je použita kompaktní střešní skladba s tepelnou izolací pěnosklem. Střešní krytina je plechová. [5].

Fotogalerie stavby:





Obr. 24-31: Fotografie stavby krytého plaveckého bazénu v Litomyšli [5]

Aquapalace Praha (Obr. 32-36)

Aquapalace v Praze Čestlicích je největším aquaparkem ve střední Evropě. Jeho kapacita je 2 100 návštěvníků. Vodní svět se rozkládá na ploše 9 150 m² a je tvořen třemi paláci. Budova akvaparku je navržena na trojúhelníkové základně a pro návštěvníky je zpřístupněna prostřednictvím lichoběžníkové vstupní budovy. [6].

Tři vodní paláce, tzv. dómy, jsou zastřešeny zasklenými transparentními střechami. Jsou z velké části vyrobeny ze skla, což celou stavbu vylehčuje. Střechy všech tří paláců mají shodnou konstrukci. Hlavními nosnými prvky jsou dva dřevěné plnostěnné lepené nosníky umístěné kolmo na sebe. Výška nosníků je 2 m a 1,50 m. Tyto nosníky jsou uloženy ve sklonu střechy na dvou ocelových sloupech a na železobetonových pilířích v rozích čtyřúhelníku. Kolmo na tyto nosníky jsou situovány dřevěné vaznice rozdílných výšek podle rozpětí. Mezi nimi jsou dřevěné nosníky vytvářející podporu zasklení střechy. Stabilita střešní roviny je zajištěna ocelovým zavětrováním mezi pasy vaznic a větrovým nosníkem po obvodě každého paláce. [7].

Fotogalerie stavby:





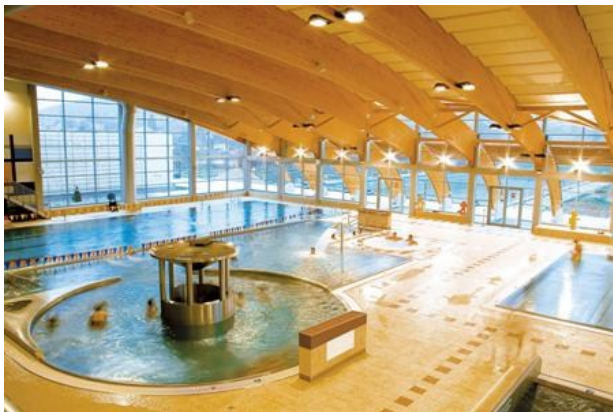
Obr. 32-36: Fotografie stavby Aquapalace v Praze [7] [8]

Plovárna Hranice na Moravě (Obr. 37-39)

Areál krytého bazénu se nachází v Hranicích na Moravě na břehu řeky Bečvy. V bazénové hale se nachází hlavní plavecký bazén o délce 25 m. Kromě něj pak různé odpočinkové bazény a bazén pro neplavce.

Hlavní konstrukční systém zastřešení bazénové haly je tvořen obloukovými plnostěnnými vazníky z lepeného dřeva. Střešní konstrukce se zateplením je uložena na vaznice, které jsou zapuštěny na hlavní vazníky. Hlavní konstrukční systém krytého bazénu a zázemí je tvořen monolitickou železobetonovou konstrukcí. Obvodový plášť bazénové haly je tvořený celoprosklenou hliníkovou fasádou s bezpečnostním sklem.

Fotogalerie stavby:



Obr. 37-39: Fotografie stavby plovárny v Hranicích na Moravě [9] [10]

B) Dřevěné rámové konstrukce

Dřevěné rámové konstrukce jsou obdobně jako vazníky buď plnostěnné, nebo příhradové. V praxi se nejčastěji setkáváme s rámy dvojkloubovými či trojkloubovými. A to z hlediska příznivého statického působení, možnosti přizpůsobit se objemovým a teplotním

změnám a změnám v poklesu základové půdy, ale také z hlediska snadnější montáže této konstrukce.

Větší pozornost je nutno věnovat rámovému rohu a přenosu smykových sil. Mezi příklady řešení rámového rohu patří příhradový sbíjený rámový roh, plnostěnný lepený rámový roh, nebo smíšený. Rámový roh lze také zajistit užitím ocelového táhla. Táhllo zachycuje tahovou složku momentu v rámovém rohu. [3].

Krytý bazén Kohoutovice (Obr. 40-48)

Bazénová hala je součástí nově budovaného komplexu krytého plaveckého bazénu v Brně, městské části Kohoutovice. Komplex bazénového objektu je dispozičně rozdělený na provozní prostory, zahrnující zázemí bazénu, občerstvení, doplňkové pohybové aktivity (fitness, saunu, masážní zázemí, atd.), veškeré hygienické zázemí, technické zázemí a samostatnou bazénovou halu. Hmotové ztvárnění vstupní části a veškerého zázemí navazuje na daný sídlištní rastr okolních staveb kubickým objemem. Samostatná bazénová hala je naopak řešena v protikladu s tímto rastrem v organické formě připomínající ležícího pásovce. Tyto objekty jsou od sebe odděleny i materiálovým ztvárněním fasády. Bazénová hala obsahuje dvě hlavní vodní plochy, včetně plaveckého bazénu o délce 25 m s 6 plaveckými dráhami, a několik dalších vodních atrakcí. [11].

Konstrukčně je objekt řešen jako monolitický železobetonový skelet. Hlavní nosná konstrukce zastřešení bazénové haly je tvořena organickou strukturou vazníků z lepeného lamelového dřeva. Vazníky jsou na jedné straně uloženy na železobetonových pilířích, na druhém konci vedou až na úroveň terénu do základové patky. [12].

Objekt bazénové haly má nepravidelný tvar. Z toho bylo třeba vycházet při návrhu dřevěné konstrukce zastřešení. Mezní půdorysné rozměry zastřešení jsou 58 x 38 m. Výška střešního pláště je v různých výškových úrovních. Návrh konstrukce byl tedy velice složitý, protože půdorys i výškové uspořádání objektu jsou nepravidelné. [11].

Nosná konstrukce zastřešení je tvořena devíti segmenty. Hlavní rámy segmentů jsou řešeny jako dvojklobbové rámy se zakřiveným rámovým rohem na různé rozpětí od 24,8 m do 34,5 m. Průřezy lepeného vazníku jsou navrženy ve velkých rozměrech. Výška rámu

u segmentu největšího rozpětí je 1 960 mm, šířka 240 mm. Osová vzdálenost ráků je 5 m. Celý rám je rozdělen na dvě části. Montážní styky jsou provedeny pomocí vložených plechů, ocelových kolíků a svorníků. Styky jsou umístěny v přechodu příčle ráku do zakřiveného rámového rohu. [12].

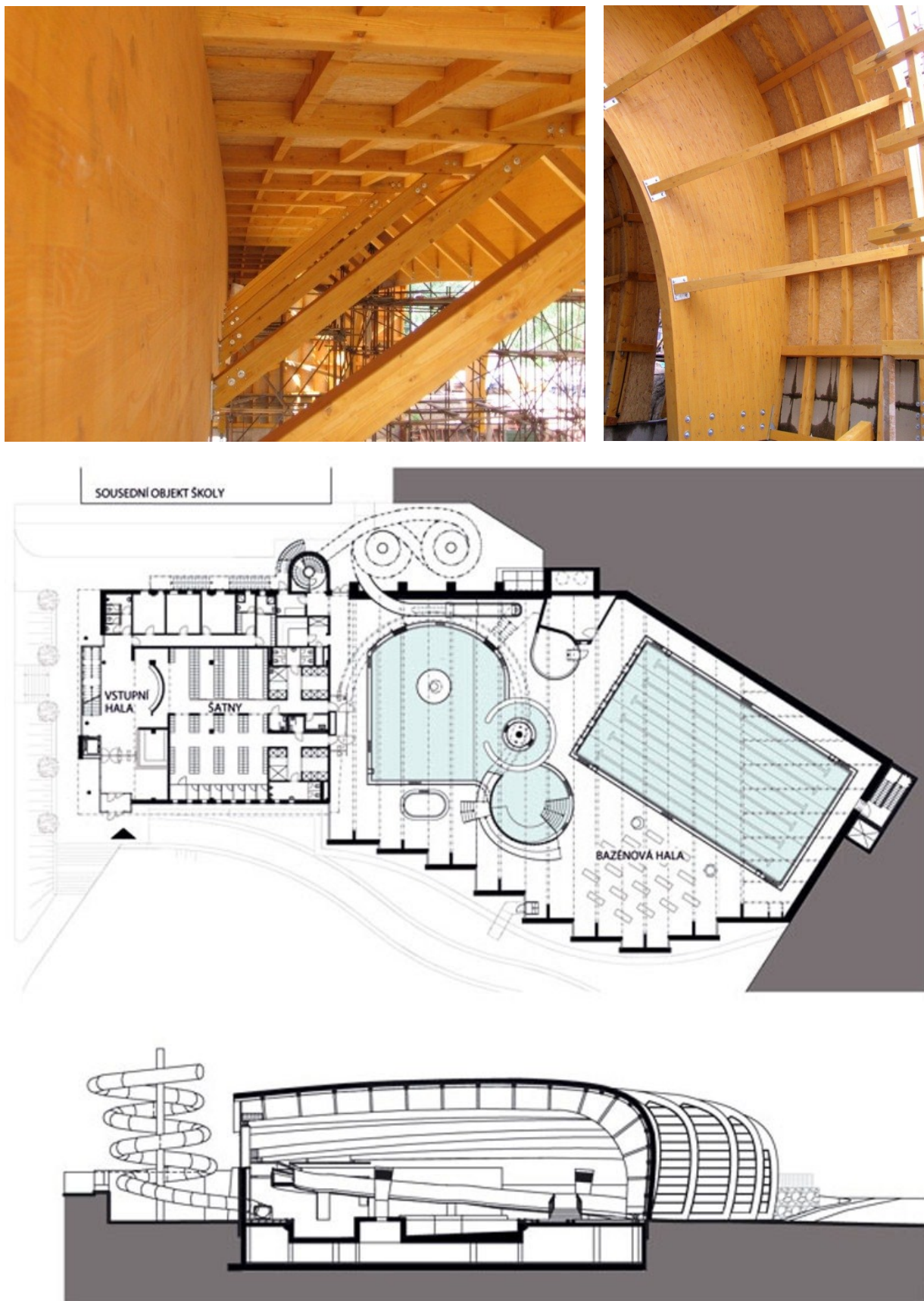
Na základní část haly se segmenty navazuje část přibližně trojúhelníkového půdorysu zastřešená lepenými vazníky. Vazníky jsou na jedné straně podepřeny na rám koncového segmentu, na druhé straně jsou uloženy na ocelové sloupy prosklené stěny. [12].

Stabilita štíhlých a velmi vysokých lepených ráků je zabezpečena nosnou vrstvou střešního pláště. Nosná vrstva střešního pláště je tvořena z dřevotřískových OSB desek. OSB desky jsou uloženy na vaznice. Vaznice a stabilita vazníků je zachycena pomocí šikmých výztuh. Střešní plášť je tvořený jednoplášťovou, tzv. kompaktní střechou. [12].

Fotogalerie stavby:







Obr. 40-48: Fotografie stavby krytého bazénu v Kohoutovicích v Brně [11] [12] [13]

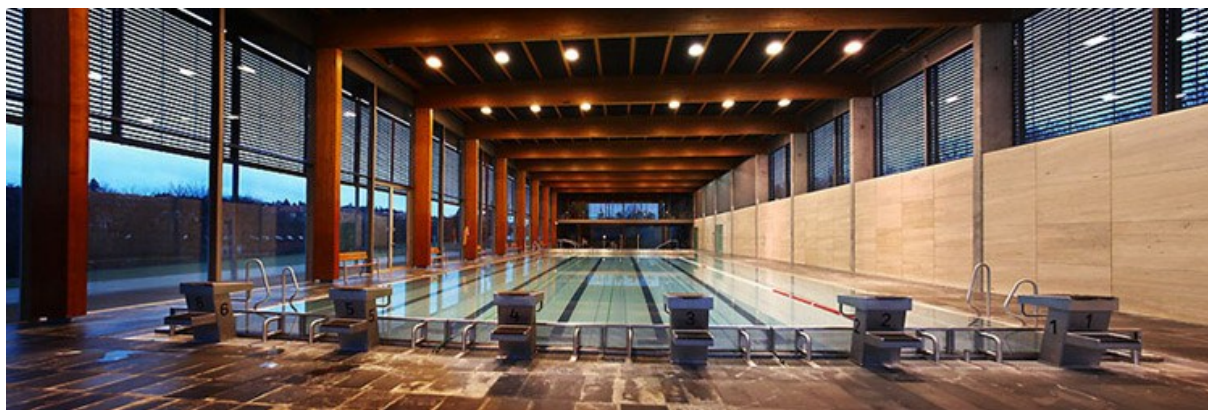
Krytý bazén Kraví Hora (Obr. 49-52)

Krytý plavecký bazén je umístěn na stráni Kraví Hory v Brně Veveří. Novostavba bazénové haly harmonicky navazuje na původní venkovní plavecký areál. Tato návaznost umožňuje jak optické, tak provozní propojení venkovních bazénů. Veškeré obslužné i technologické provozy jsou situovány do podzemních podlaží. Viditelná zůstává pouze samostatná bazénová hala se vstupním mezipatrem pokladen a kavárna. V hale je umístěn plavecký bazén dlouhý 25 m a 15 m dlouhý bazén pro neplavce.

Konstrukce bazénové haly je řešena jako rámová konstrukce. Lepené dřevěné rámy nosné konstrukce doplňují betonové sloupy. Prostorovou tuhost pak zajišťují zdi z pohledového betonu. Fasáda je prosklená s unikátním výhledem na Brněnské panorama.

Fotogalerie stavby:





Obr. 49-52: Fotografie stavby krytého bazénu na Kraví Hoře v Brně [14]

3.2.2 Konstrukční systémy zastřešení bazénových hal převážně tlačené

Mezi konstrukční systémy zastřešení bazénových hal ze dřeva a materiálů na jeho bázi patří především obloukové konstrukce.

A) Dřevěné obloukové konstrukce

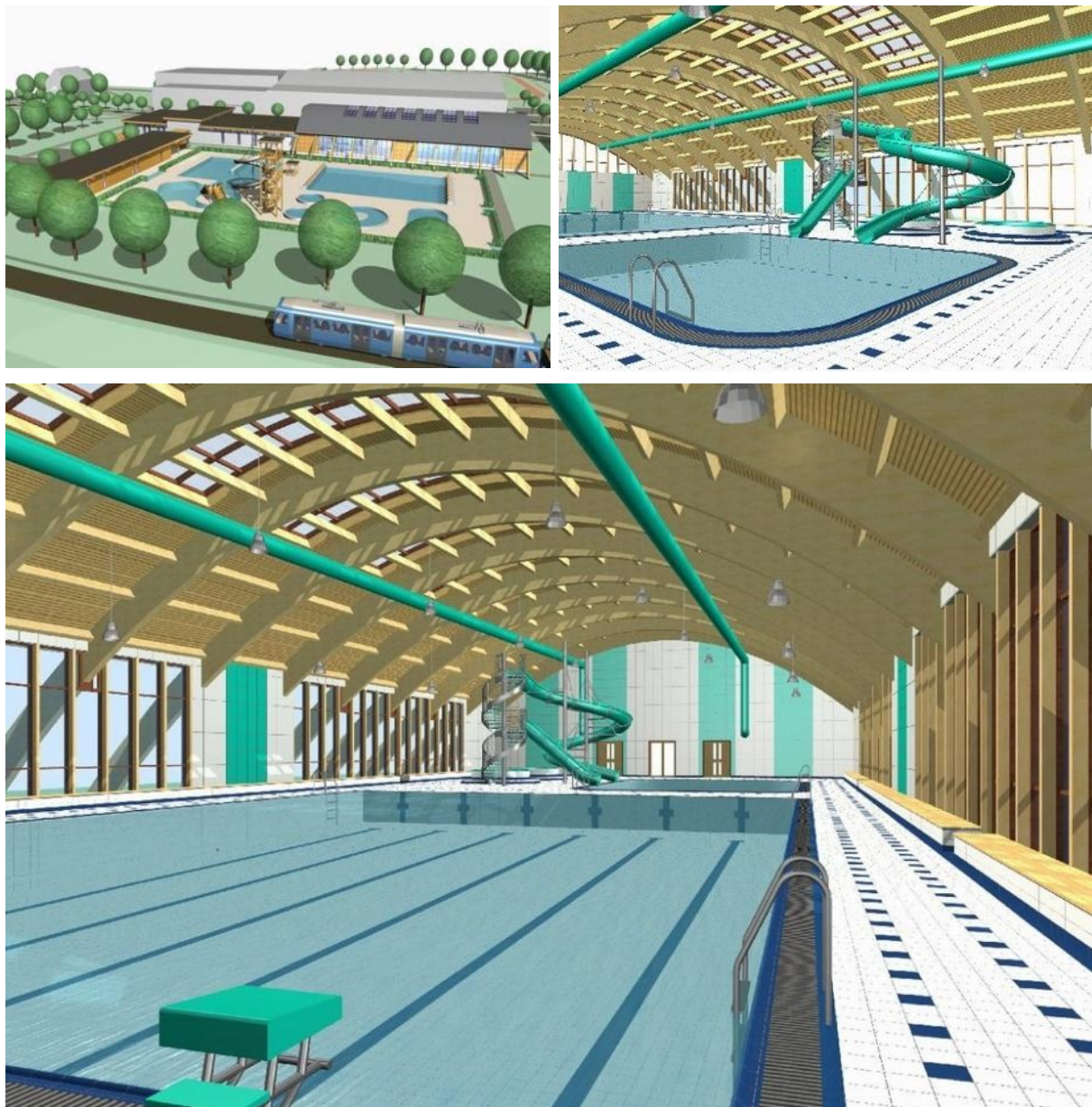
Dřevěné obloukové soustavy se navrhují především jako dvojkloubové nebo trojkloubové nosíky. Většinou jsou navrhovány z lepených průřezů různého tvaru. Často se také navrhují s výškově proměnným průřezem. Pro styk oblouků ve vrcholovém kloubu a pro uložení na základovou konstrukci se používá ocelových stykovacích desek a přílozek. [3].

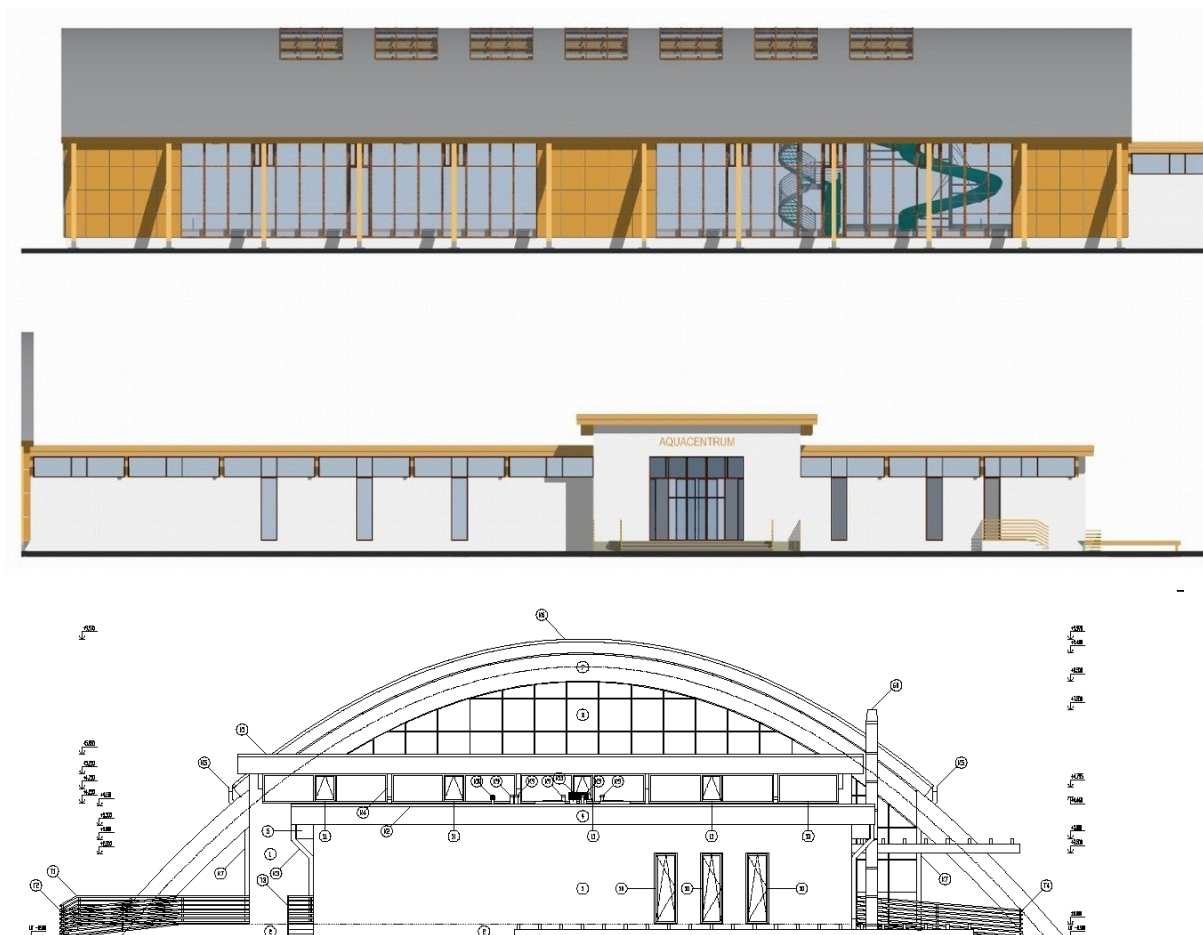
Aquacentrum Nymburk (diplomová práce) (Obr. 53-58)

Objekt krytého bazénu je součástí sportovního areálu na okrajové části historického centra města Nymburk. Aquacentrum sestává z krytého bazénu a letního venkovního koupaliště. Objekt krytého bazénu má dvě základní části a to vstupní část se šatnovou částí a dalšími prostorami a samostatnou bazénovou halu. Obě části jsou jednopodlažní a podsklepené, kde se nachází veškeré zázemí. Vstupní prostor je vyvýšen nad ostatní částí zázemí bazénové haly. Hmotově jsou části od sebe odděleny. Vstupní část a zázemí tvoří jednoduchá hranolová hmota. Samostatná bazénová hala je tvarově odlišná. Tvarové řešení nosné konstrukce zastřešení je pomocí parabolických oblouků. Bazénová hala obsahuje krytý plavecký bazén dlouhý 25 m a široký 16,6 m, krytý rekreační bazén 12,5 m x 9 m s tobogánem a skluzavkou a dvě vířivé vany. [15].

Vstupní část a část zázemí bazénové haly jsou zastřešeny plochou střechou. Zastřešení bazénové haly tvoří parabolické obloukové vazníky z lepeného lamelového dřeva. Vazníky mají rozpon 32,9 m a vzepětí 9,8 m. Osová vzdálenost vazníků je 4,5 m. Krajní části vazníku dosedají v exteriéru pomocí ocelových patek na betonové základové patky. Celý oblouk je tvořen ze dvou částí, které jsou ve vrcholu spojeny pomocí ocelové příložky. Na vazníky je pak uložena nosná konstrukce střešního pláště, která se skládá z vaznic z lepeného lamelového dřeva. Vaznice jsou od sebe vzdáleny 1,5 m. Na vaznice je uložena skladba střešního pláště. Ztužení konstrukce je řešeno pomocí tahových ztužidel. [15].

Fotogalerie stavby:





Obr. 53-58: Fotografie stavby aquacentra v Nymburce (diplomová práce) [15]

4 SPECIFIKA A NORMOVÉ POŽADAVKY ZASTŘEŠENÍ BAZÉNOVÝCH HAL

4.1 Výška střešní konstrukce nad hladinou vody

Bazénové haly musí splňovat minimální světlou výšku. Pro bazénové haly se smíšenými bazény je minimální světlá výška 4 m nad hladinou vody. Prostor nad vodní hladinou musí dodržovat výšku 4 m a nesmí do něj zasahovat jakékoliv předměty, jako například osvětlení, podhledy, či rozvody vzduchotechniky. Ostatní výška prostoru nad ochozem bazénu je pak minimálně 2,5 m. Zde spadají veškeré prostory plavčíka, ošetřovny, skladovací prostory, úklidové prostory a další. [16].

4.2 Zastřešení s velkým rozpětím

Konstrukce zastřešení bazénové haly musí být navržena tak, aby překonala velké rozpětí nad bazénovým prostorem a neomezovala jej podpůrnými konstrukcemi. Pro překlenutí velkých rozpětí proto musí být vhodně zvolené konstrukční řešení. Dále také materiál a samostatný rozměr nosných konstrukcí.

4.3 Odolnost proti zatížení

Konstrukce zastřešení bazénové haly je konstrukce nad velkým rozpětím. Proto musí být správně navržena, aby byla schopna přenášet veškerá zatížení až do svislých nosných konstrukcí a základových konstrukcí bez jakýchkoliv podpor v oblasti bazénové haly. Konstrukce zastřešení musí odolávat jak zatížení vlastní tíhou, tak také zatížení střešního pláště a nepatrnému užitému zatížení na střechy. Hlavním ovlivnitelným zatížením je pak zatížení klimatické, tedy zatížení od sněhu a větru. Dále pak také musí být konstrukce schopná přenést zatížení od podhledů, osvětlení a vzduchotechniky, je-li na konstrukci zavěšena, a od dalších doplňkových předmětů. Veškeré toto zatížení musí být schopná přenést. Také je nutné zajistit celkovou stabilitu konstrukce pomocí vodorovných ztužidel.

4.4 Kvalita vnitřního vzduchu, vzduchotechnika krytých bazénů

Správná úprava vnitřního vzduchu v budovách krytých bazénů je velmi rozhodující pro správný chod bazénu, lidskou pohodu, ale hlavně také pro únosnost a životnost nosných konstrukcí. Z hlediska kvality vnitřního vzduchu je v krytých bazénech mnoho faktorů, které se navzájem ovlivňují. Vzájemné působení vody a vzduchu je komplexní. Klimatické podmínky v prostoru bazénu jsou ovlivněny především druhem vody (standartní, mořská nebo slaná voda) a typem krytého bazénu (lázeňský, školní, plavecký bazén). Materiál konstrukce, který je vhodný použít, určuje druh vody. Typ krytého bazénu má vliv zvláště na množství odpařené vody. [17].

Prvotní návrh distribuce vzduchu se řídí podle půdorysu budovy a rozložení jednotlivých místností. Je tedy také důležité dodržet určité výškové rozměry volného prostoru nad hladinou, aby mohlo dojít ke správné regulaci a úpravě vzduchu a nedocházelo tak k nepříznivým podmínkám v daných prostorách. Špatná úprava a regulace vzduchu pak může způsobit kondenzaci vodních par ve střešní konstrukci, vznik plísní a mnohé další negativní faktory působící na konstrukci a snižující její únosnost a životnost. [17].

4.5 Tepelná ochrana budov krytých bazénů

Kryté bazény jsou prostory, kde je návštěvník téměř neoblečený a po celou dobu v mokrém prostředí. Z tohoto důvodu jsou rozdíly teplot vnímány bezprostředně jako nepříjemné. Je tedy velmi důležité zajistit požadovanou teplotu prostor krytého bazénu pro zajištění tepelné pohody člověka a příjemného prostředí. Návrhová teplota vnitřního vzduchu bazénové haly pro děti i dospělé osoby je 31°C. Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu bazénové haly je 80%. Aby byly tyto hodnoty zachovány, musí splňovat střešní konstrukce požadavek na prostup tepla, požadavky na šíření vlhkosti střešní konstrukcí a požadavek na teplotní faktor. [18].

Vhodným řešením návrhu střešního pláště je jednoplášťová, tzv. kompaktní střecha, při níž jsou jednotlivé vrstvy střešního pláště vzájemně spojeny lepením v kompaktní celek, bez vzniku jakékoli větrané vzduchové mezery. Výhodou tohoto systému střešní konstrukce je mimo jiné také velmi vysoká vodotěsnost a parotěsnost. Pokud vychází ve výpočtu kondenzační zóna do oblasti tepelné izolace, můžeme ji zde zcela vyloučit, protože z hlediska

vlastností kompaktní skladby není v tomto místě možná. Podobně není možno uvažovat s odparem vodní páry z kompaktní skladby. Je zde také minimalizován vznik tepelných mostů, skladba není narušena žádnými dřevěnými profily ani kovovými kotevními prvky. Při použití vhodných materiálů dojde tedy k dodržení všech požadavků na tepelnou ochranu střešního pláště. [18].

4.6 Osvětlení krytých bazénů

U krytých bazénů je zapotřebí zajistit dobrých podmínek vidění a světelné pohody. Intenzita osvětlení je jedním ze základních parametrů vnitřního prostředí, má velký vliv na pohodu a zdraví osob, napomáhá naší výkonnosti, zlepšuje náladu a vytváří příjemnou atmosféru. Celkově působí pozitivně na lidskou psychiku. Pro dosažení optimálního osvětlení má přednost osvětlení prostoru denním světlem. Pokud to není možné zajistit přes prosklení obvodového pláště bazénové haly, je nutné navrhnout světlíky i do střešní konstrukce. Samozřejmě, že zbývající část světelné pohody doplní umělé osvětlení, které v našem životě hraje již nezastupitelnou roli. Jestli budou navržené světlíky i ve střešní konstrukci, nebo bude denní světlo doplněno umělým, je nutné zajistit, aby nedocházelo k oslňování, a je nutno omezit rušivého světla. [19].

4.7 Materiál nosných konstrukcí zastřešení bazénových hal

U materiálového řešení konstrukcí zastřešení bazénových hal se budu zabývat dřevem a materiály na jeho bázi, dle zadání diplomové práce. Je spousta řešení, jak navrhnout konstrukci zastřešení haly. Konstrukční varianty jsou již popisovány v dřívější kapitole. V diplomové práci je navržena konstrukce z lepeného lamelového dřeva. Dále navazuje popis tohoto materiálu a jeho kladné výhody.

4.8 Odolnost konstrukčních prvků proti vlhkosti

Z hlediska použitelnosti dřeva je vlhkost jeho rozhodující vlastností. Dřevo je materiál schopný se přizpůsobit vlhkostním poměrům v daném prostředí. Je schopný vlhkost vstřebat, ale i uvolnit. S tím souvisí objemové změny daného konstrukčního prvku. V hodně vlhkém prostředí, jako jsou kryté bazény, může nastat problém z hlediska jednotlivých přípoju dřevěné konstrukce. Je tedy nutné brát na tento fakt ohled i již při návrhu. Také správný

systém větrání a vhodně provedené detaily a tepelná izolace zabrání nežádoucí vlhkosti působící na konstrukci. [2].

4.9 Přeprava a montáž nosných konstrukčních prvků

Přeprava a montáž jsou dva důležité aspekty, které je potřeba zvážit již při navrhování a výrobě konstrukcí. Konstrukce z lepeného lamelového dřeva mohou být navrhovány a vyráběny ve značně velkých rozměrech a různých tvarech. Možnosti přepravy a montáže je proto nutno vyjasnit již v úvodním stadiu návrhu pro umožnění odhadu nákladů a účelného výběru z různých statických systémů zastřešení. [20].

5 LEPENÉ LAMELOVÉ DŘEVO NA ZASTŘEŠENÍ BAZÉNOVÝCH HAL

Lepené lamelové dřevo – LLD (BSH – Brettschichtholz, GLULAM – Glued laminated timber) je konstrukční materiál vyráběný z běžného pilařského řeziva. V České republice začala jeho výroba již v roce 1952. Výroba lepeného lamelového dřeva spočívá ve vzájemném lepení lamel z masivního dřeva. Jednotlivé lamely jsou k sobě po délce spojovány zubovitým spojem a po tloušťce slepovány v několika vrstvách. Lepená spára nemá negativní vliv na mechanické vlastnosti dřeva. Prvek z lepeného lamelového dřeva se tedy posuzuje jako celistvý profil. Je možné vyrobit přímé nebo tvarové nosníky jakýchkoliv rozměrů. [21], (Obr. 59-60).

Jako materiál nosné konstrukce zastřešení bazénových hal je nejvýhodnější lepené lamelové dřevo. A to hned z několika důvodů. Přednosti lepeného lamelového dřeva vyplývají zejména z technologie výroby lepených prvků. Skladba průřezu je mnohem homogennější, konstrukce vykazuje vyšší hodnoty mechanických vlastností. Technologie výroby umožňuje navrhovat konstrukce velkých rozpětí. Materiál má vhodný poměr vlastní hmotnosti ke statické únosnosti. Dále je možné vyrobit nosníky libovolných geometrických tvarů. Prvky z lepeného lamelového dřeva jsou tvarově stálé. Lepené lamelové dřevo je vhodné k použití nosné konstrukce bazénových hal také proto, že vykazuje vynikající vlastnosti nezbytné pro působení konstrukce ve vlhkostně a teplotně náročném prostředí. Lepené lamelové dřevo má výborné tepelné vlastnosti. Tento materiál je také odolnější proti agresivním látkám, tzn. je chemicky, teplotně a tvarově stálý. Bazénová hala je místo, kde dochází ke shromažďování většího počtu lidí. Je tedy zapotřebí požadované požární odolnosti stavebních konstrukcí, což dřevo vykazuje. Lepené lamelové dřevo je přírodní materiál, vytvářející příjemné prostředí. [22].



Obr. 59-60: Lepené lamelové dřevo [23] [12]

6 PRŮVODNÍ ZPRÁVA

6.1 Zadání

Podstatou diplomové práce je návrh zastřešení bazénové haly ze dřeva a materiálů na jeho bázi a následně pak posudek jednotlivých nosných prvků zastřešení. V první fázi bylo, na základě vypracování rešerší stávajících objektů krytých bazénů a poznatků z příslušných předpisů a norem, cílem navrhnout půdorysné uspořádání a provozní dispozici objektu. Z konečného návrhu byl vytvořen model celé nosné konstrukce zastřešení. Hlavní část práce obsahuje posudek jednotlivých nosných prvků na základě výstupů z výpočetního programu.

6.2 Popis bazénové haly

Bazénová hala byla navržena, aby mohla sloužit pro plavání, relaxaci a fitness sporty pro širokou veřejnost v dané lokalitě.

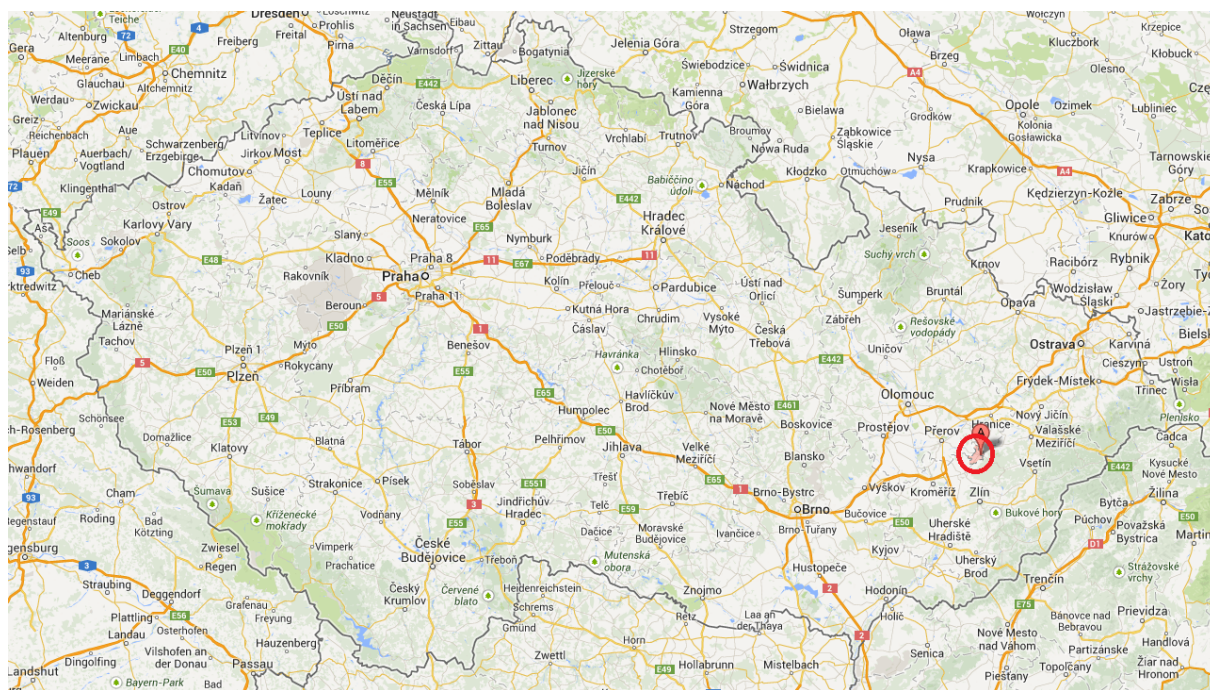
Krytý bazén je vystaven tak, aby splnil podmínky jak pro plavce, tak pro neplavce. Součástí je plavecký bazén s plaveckými dráhami pro případné školní závody, ale i bazén pro neplavce a malé děti a odpočinková zóna. Dále jsou součástí haly prostory pro masážní centrum, saunové centrum a malá tělocvična pro fitness sporty.

Při návrhu byla snaha o vytvoření jednoduché formy stavby a jejího zastřešení. Celý objekt obdélníkového půdorysu o rozměrech 45,400 m v podélném směru a 36,400 m v příčném směru. Hala je zastřešena pultovou střechou o sklonu 8,5° tvořenou hlavními vazníky z lepeného lamelového dřeva. Bazénová hala je funkčně rozdělena do třech podlažních částí, odpovídajících provozním a technologickým celkům. Provozní část včetně masážního centra, saunového centra a tělocvičny je situovaná na jednu polovinu objektu s rozpětím 18,200 m ve vyšší části přes dvě nadzemní podlaží. Samostatná bazénová hala je komponována jako převýšený prostor přes obě nadzemní podlaží provozní části ve druhé polovině objektu rovněž s rozpětím 18,200 m. Technologická část s vodním hospodářstvím, elektrorozvodna a strojovna se nachází v podzemní části pod objektem. Celková výška objektu je ve vyšší části 11,370 m a v nižší části 5,640 m.

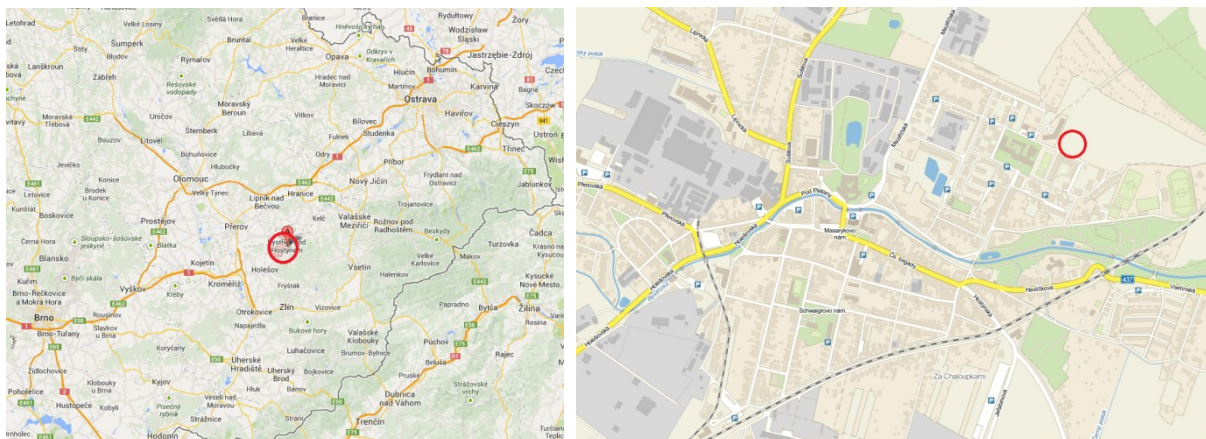
6.3 Situování haly

Navržená hala je situována na pozemek ve městě Bystřice pod Hostýnem, ve Zlínském Kraji, okres Kroměříž. Lokace bazénové haly je navržena do sídelní struktury města v těsné blízkosti základní školy a dětského domova, z důvodu dostupnosti převážně dětmi v rámci školní tělesné výuky, ale i široké veřejnosti z okolních měst a obcí.

Město Bystřice pod Hostýnem se nachází 23 km severovýchodně od města Kroměříž. Katastrální území má rozlohu 2 677 ha. V současné době ve městě žije 8 463 obyvatel. Průměrná nadmořská výška je 315 m.n.m. Město má mírné klimatické podmínky. Pozemek spadá do sněhové oblasti s kategorií terénu III a větrné oblasti kategorie II (viz. Statický posudek, kap. 2.). Samostatný pozemek, na kterém je bazénová hala navržena, je rovný, nezastavěný a bez současného porostu.



Obr. 61: Mapa přibližující polohu města Bystřice pod Hostýnem a samostatného pozemku stavby [24]



Obr.: 62-63: Mapa přibližující polohu města Bystřice pod Hostýnem a samostatného pozemku stavby [24]

6.4 Dispoziční řešení

Objekt krytého bazénu je nosnou konstrukcí v příčném směru rozdělený na dvě stejně velké části, každá o délce 18,200 m v příčném směru. Objekt, jak již bylo zmíněno, je rozdělen do tří funkčních a technologických celků rozkládajících se na tři podlaží.

V prvním nadzemním podlaží v první polovině objektu je situovaný hlavní vchod celého krytého bazénu se závětrím a zádveřím. Hlavním vstupem se projde do halové části s pokladnou a malou kavárnou s občerstvením. Přes pokladnu se dostaneme do šatnové části bazénu, nebo po schodech do druhého nadzemního podlaží. Z šatnové části je vstup přes hygienické zařízení, oddělené zvlášť pro ženy a muže, do bazénové haly. Dále se v 1. NP nachází místnost pro plavčíka a ošetrovna, úklidová místnost a schodiště s vlastním vstupem do objektu, vedoucí do prvního podzemního podlaží. V 1. PP se nachází veškerá technologická část s vodním hospodářstvím, elektrorozvodna a strojovna.

V 2. NP se nachází masážní a saunové centrum s vlastní šatnou a hygienickým zařízením, odděleným zvlášť pro ženy a muže. Dále se v 2. NP nachází malá tělocvična pro fitness sporty, taktéž s vlastním odděleným sociálním zařízením. Dále kancelář a zázemí pro zaměstnance a úklidová místnost. V 2. NP je prostor vyhrazený pro rozvodnu vzduchotechniky do celé bazénové haly.

V druhé polovině objektu se pak nachází samostatná bazénová hala jako převýšený prostor přes obě nadzemní podlaží. Bazénová hala obsahuje 25 m plavecký bazén s pěti plaveckými dráhami. Dno bazénu je navrženo s proměnlivou hloubkou od 1,2 do 1,8 m, umožňující pobyt i neplavcům. Neplavecký bazén má rovněž proměnlivou hloubku od 0,7 do 1,2 m, vstupní široké sedací schody, umožňující pobyt ve vodě i těm nejmenším dětem. Bazén obsahuje vzduchovače – vodní sopku a chrliče. Samostatně je pak umístěný bazén vířivky a bazén s masážními tryskami společně s teplejší vodou. Samostatně je také oddělená parní sauna.

Výkresy 1. NP a 2. NP jsou přiloženy v projektové dokumentaci.

6.5 Konstrukční řešení

Objekt je obdélníkového půdorysu o rozměrech 45,400 m x 36,400 m, dvoupodlažní, zastřešený pultovou střechou se sklonem 8,5°. Výška objektu ve vyšší části je 11,690 m a ve spodní části je 5,640 m. Nosnou konstrukci střechy tvoří obloukové dřevěné vazníky z lepeného lamelového dřeva. Svislé nosné konstrukce v části provozní a zázemí jsou ze železobetonu. Také strop nad 1. NP provozní části a zázemí je ze železobetonu. Tyto konstrukce zajišťují tuhost objektu a podpírají nosnou konstrukci zastřešení. Světlá výška 1. NP a 2. NP v nejnižším místě je 3,000 m. Bazénová hala je zastropená nosnou konstrukcí z vazníků z lepeného lamelového dřeva, na které je uložena vrstva střešního pláště. Světlá výška v nejnižší části bazénové haly je 4,000 m a zvyšuje se se střešní rovinou až na úroveň SV 2. NP provozní části a zázemí. Nosná konstrukce a půdorysné uspořádání objektu je navrženo v rastru po 5m v příčném směru. Od tohoto nastaveného rozměru se odvíjí další návrh nosné konstrukce zastřešení.

6.6 Varianty a myšlenkový pochod návrhu konstrukčního řešení zastřešení objektu

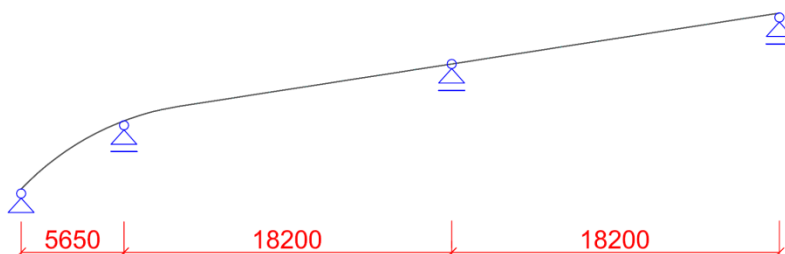
V následujících kapitolách jsou popsány varianty řešení nosné konstrukce zastřešení bazénové haly. Všechny varianty vychází z modulového rastru hlavních vazníků, který se nemění. Hlavní vazníky jsou přímé nad provozní částí a zaoblené nad bazénovou halou a jsou rozmístěny v osových vzdálenostech po 5 m. Vazníky jsou uloženy na nosné ŽB stěny v provozní části. Na druhé straně nad bazénovou halou jsou uloženy přímo na žb základovou patku. Varianty jsou popisem postupu návrhu konečné varianty, která je dále podrobněji zpracována.

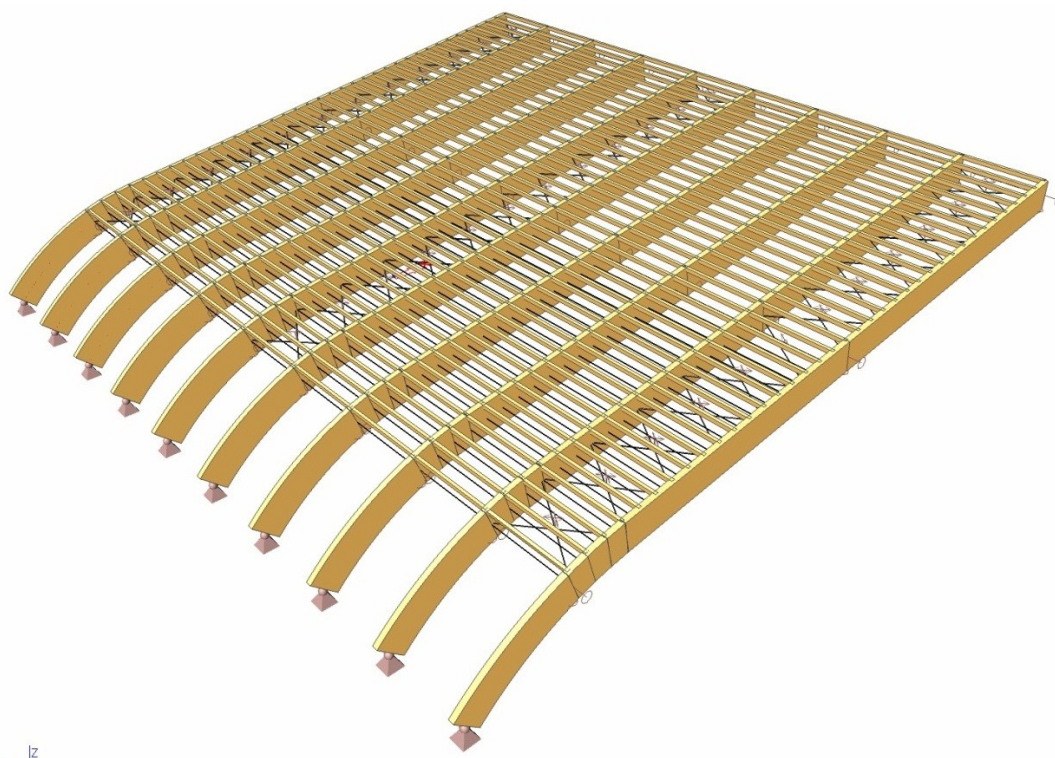
6.6.1 VARIANTA Č. 1 – Vaznice s roztečí 1 m s podporou v bazénové části

Nosná konstrukce v této variantě je řešena, jak je popsáno výše, z vazníků z lepeného lamelového dřeva v osových vzdálenostech po 5 m. Přímé vazníky jsou kloubově uloženy na posuvných podporách na nosné zděné stěny v provozní části. V části bazénové haly jsou pak obloukové vazníky kloubově uloženy na žb sloupy a pokračují až na úroveň terénu, kde jsou kloubově připevněny na žb patku. Rozpětí vazníků je 18,20 m nad provozní částí, 18,20 m nad bazénovou halou k podporovému sloupu a 5,45 m od sloupů žb patce. Mezi vazníky jsou kloubově uloženy vaznice. Osová vzdálenost vaznic je 1 m. Vaznice přenášejí stálé zatížení od střešního pláště a nahodilá klimatická zatížení od větru a sněhu. Prostorovou stabilitu celé konstrukce zajišťují tři pole příčných ocelových ztužidel, umístěných v osově vzdálenosti po 20 m v podélném směru konstrukce. Osová vzdálenost kotvení táhel na vazníky je 3 m v příčném směru konstrukce, vždy přes 3 pole vaznic. Stabilita v podélném směru je zajištěna pomocí dřevěných rozpěr, které jsou rozmístěny v osových vzdálenostech po 3 m v příčném směru. Dřevěné rozpěry jsou navrženy a umístěny stejně jako vaznice.

Použití této varianty by bylo mnohem pracnější než další varianta č. 2. Průřez vaznice v této variantě vychází na 140 x 240 mm. Při výpočtu hmotnosti použitého materiálu, vaznice v této variantě vycházejí menšího řůezu, ale je jich značně více a jsou těžší, tedy více zatěžují hlavní vazníky. Navíc při jejich větším počtu by byla mnohem pracnější montáž.

Schéma varianty č. 1



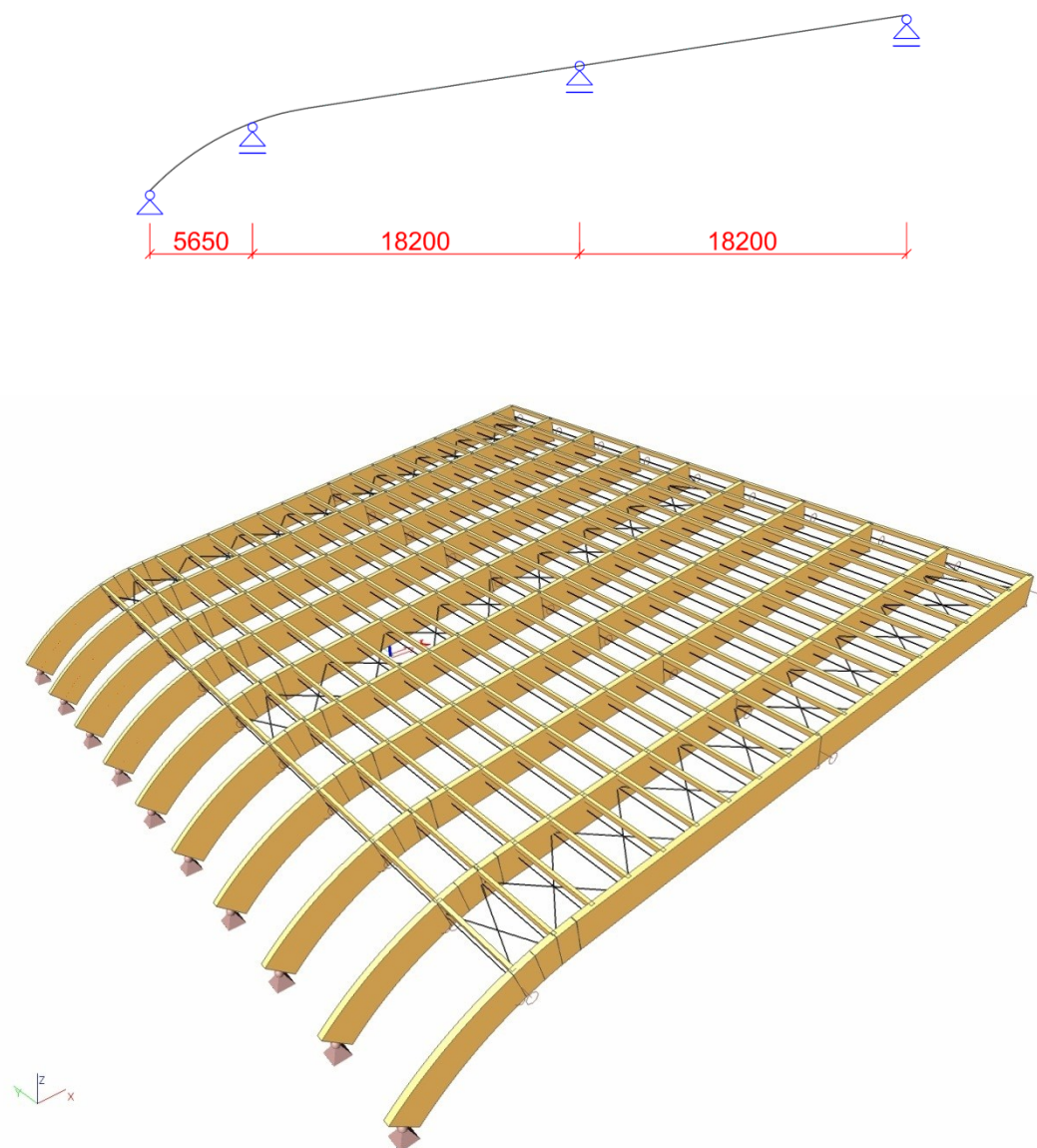


6.6.2 VARIANTA Č. 2 – Vaznice s roztečí 2 m s podporou v bazénové části

Další variantou je opět hlavní nosná konstrukce z vazníků osově vzdálených po 5 m. Uložení nosníků zůstává stejné jako u varianty č. 1. Tato varianta je plně shodná s variantou č. 1, až na ten rozdíl, že vaznice jsou kloubově uloženy mezi vazníky v osově vzdálenosti 2 m. Prostorovou stabilitu opět zajišťují tři pole příčných ocelových ztužidel, umístěných v osově vzdálenosti po 20 m v podélném směru konstrukce. Osová vzdálenost kotvení táhel na vazníky je 4 m v příčném směru konstrukce, vždy přes 2 pole vaznic. Na kraji pro zvýšení stability jsou pak táhla pouze přes jedno pole. Stabilita v podélném směru je opět zajištěna pomocí dřevěných rozpěr, které jsou rozmístěny v osových vzdálenostech po 4 m v příčném směru.

Použití této varianty je mnohem úspornější, co se týče materiálu, tak i montáže. Průřez vaznic vychází 180 x 280 mm, což je trochu více, než u průřezu vaznic u varianty č. 1, ale stále se jedná o úspornější variantu z důvodu použití materiálu. Je zapotřebí zvýšit vrstvu záklopu, pro roznos zatížení od střešního pláště. Ale stále je tato varianta ekonomičtější a méně tímto způsobem zatěžujeme hlavní nosníky. Vaznic je v této variantě o polovinu méně, tudíž také odpadá polovina práce na připoje vaznic k vazíkům.

Schéma varianty č. 2

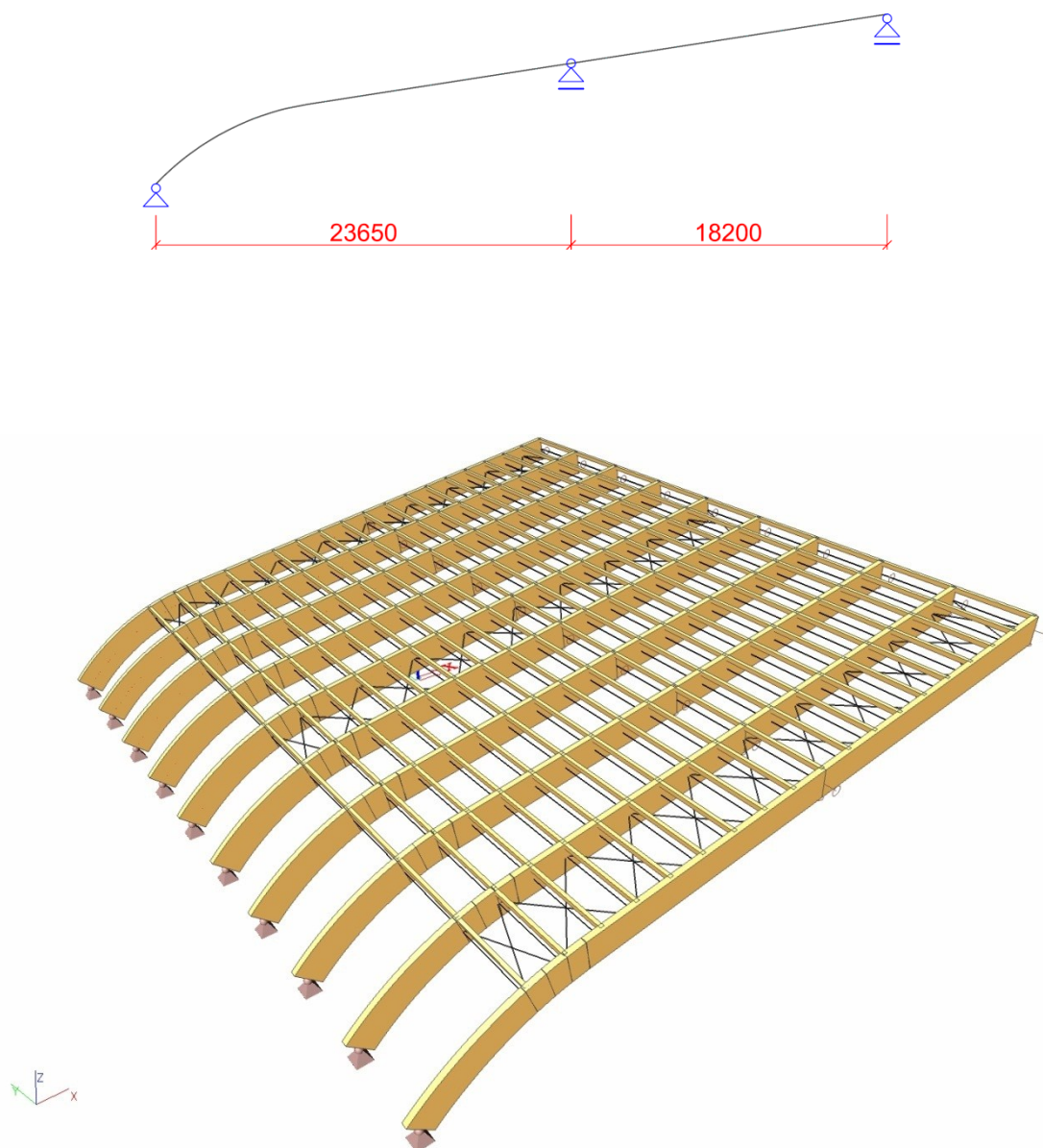


6.6.3 VARIANTA Č. 3 – Vaznice s roztečí 2 m bez podpory v bazénové části

Varianta č. 3 je plně shodná s variantou č. 2. A to jak hlavní vazníky v jejich osové vzdálenosti 5 m, kloubově uložené vaznice mezi vazníky po osových vzdálenostech 2 m a ztužení celé střešní konstrukce pomocí ocelových táhel a dřevěných rozpěr. Jediným rozdílem je odstranění sloupové podpory hlavního vazníku v oblasti jeho zakřivení v části bazénové haly.

Tímto odstraněním dojde ke zvětšení průřezu hlavního vazníku hlavně kvůli stabilitě vazníku a průhybu. Odstraněním podpory se zvětší rozpětí zakřiveného vazníku na 23,65 m. Zvětšení průřezu není tak veliké. Kdybych ponechala podporu, zbývající část vazníku vedoucí k žb patce by nebyla ekonomicky využívána. Po odstranění podpory se navrhne průřez vazníku, který je navrhnout na ekonomicky využitě úrovni, tak aby spolehlivě odolal všem účinkům zatížením a splnil podmínky mezního stavu únosnosti a použitelnosti. Konečný průřez vazníku je 220 x 1760 mm.

Schéma varianty č. 3

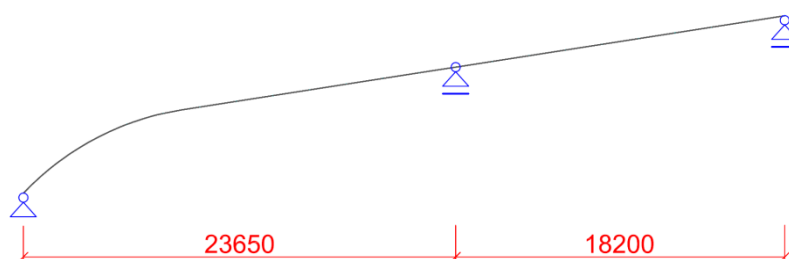


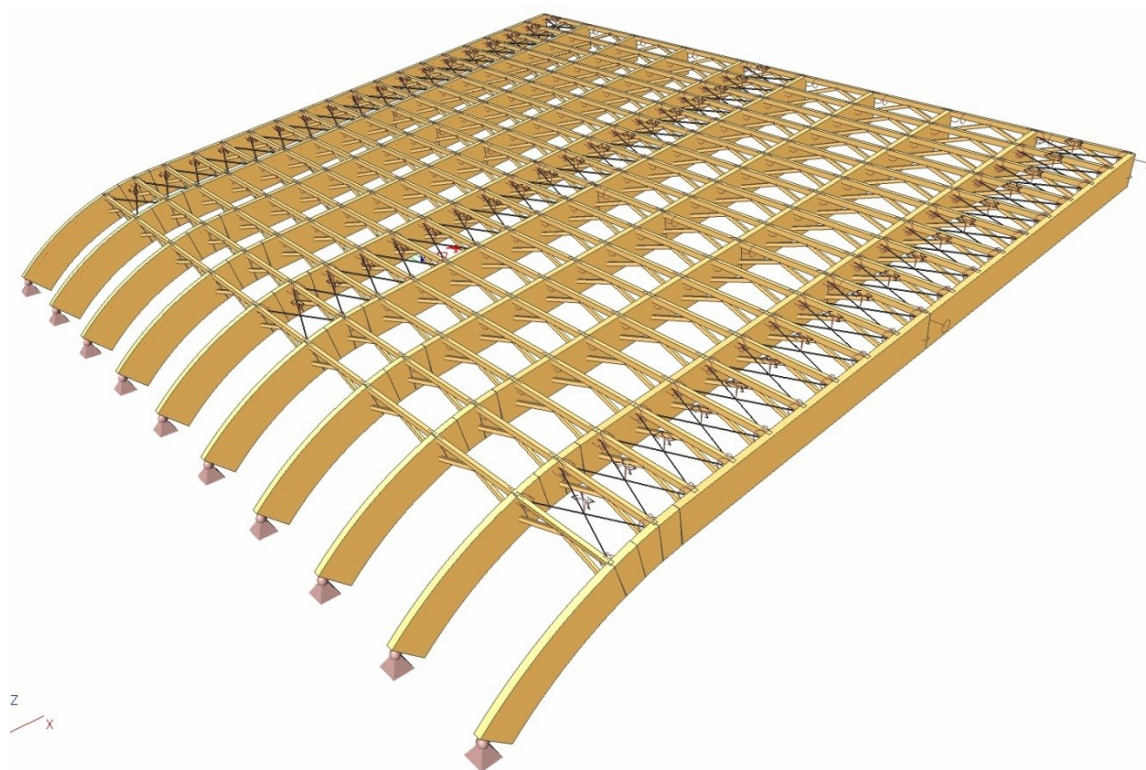
6.6.4 VARIANTA Č. 4 – Vaznice s rozpětí 2 m, se vzpěrami a s podporou v bazénové části

Poslední varianta konstrukce zastřešení bazénové haly vychází opět z rastru nosných vazníků z lepeného lamelového dřeva GL 24h v osových vzdálenostech 5 m. Stejně jako u varianty 2. a 3. jsou vaznice kloubově uloženy s osovou vzdáleností 2 m. Navíc oproti ostatním variantám jsou zde vzpěry. Vzpěry jsou umístěné pod vaznice. Podpírají vaznice v půli jejího rozpětí a jsou kloubově připojené na hlavní vazníky. Vzpěry tedy mají za úkol podepřít vaznice a zmenšit tak jejich průřez a aby lépe vyhovovaly při posudku mezního stavu únosnosti a použitelnosti. Vzpěry mají také za úkol zajistit hlavní vazníky proti ztrátě stability. Vzpěry dále zajišťují celkovou tuhost střešní konstrukce.

Od této varianty jsem upustila hlavně kvůli pracnosti a složitosti montáže dané konstrukce. Posudek vaznic není tak složitý, aby jej bylo jednoduché splnit i bez podpory od vzpěr. Hlavní vazníky splní požadavky na mezní stav únosnosti a použitelnosti i bez zajištění proti ztrátě stability vzpěrami. Navíc vzpěry vyvolávají kroutící moment na krajní vazníky. Dále vzpěry zatěžují hlavní vazník. Použití je velmi neekonomické, co se týče množství potřebného materiálu a montážní práce.

Schéma varianty č. 4





6.7 Vyhodnocení variant

Postupným myšlenkovým pochodem a porovnáváním všech variant byla zvolena jako konečná varianta č. 3, která byla dále podrobněji zracována a posouzena.

Varianta byla zvolena hlavně pro svoji konstrukční a montážní jednoduchost. Výhodou je tedy jednoduchost konstrukčních prvků a jejich montáž, zejména pak spojů, a snadnější údržba celé konstrukce. Použitý materiál všech konstrukcí je lepené lamelové dřevo, což má větší únosnost proti účinkům požáru. Lepené lamelové sřevo je také hlavně esteticky příjemné na pohled a vytváří pohodlnou relaxační atmosféru.

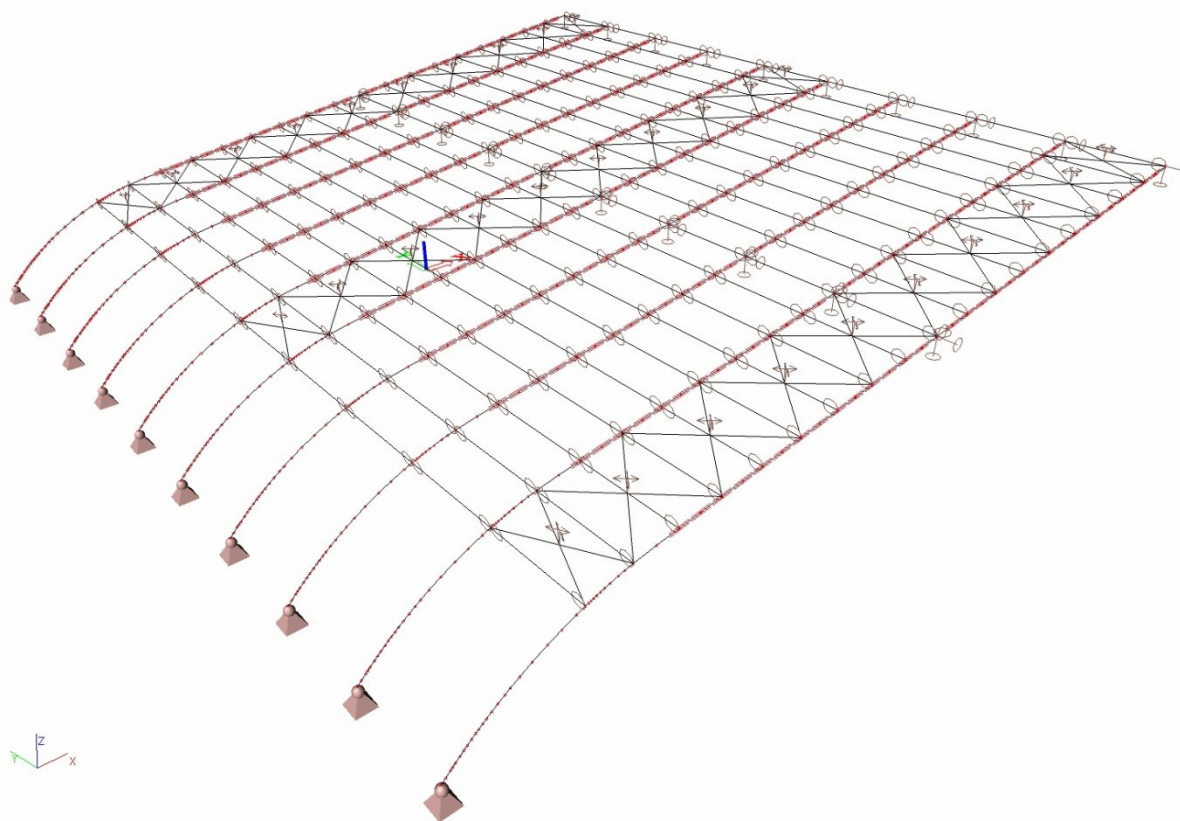
6.8 Popis zvolené navržené konstrukce

6.8.1 Popis konečné geometrie konstrukce zastřešení

Základní nosná konstrukce zastřešení je tvořena zakřivenými vazníky z lepeného lamelového dřeva kladených v osových vzdálenostech po 5 m. Přímé vazníky jsou kloubově uloženy na posuvné podpory na nosné ŽB stěny v provozní části. V části bazénové haly jsou zakřivené vazníky kloubově kotveny až na ŽB základovou patku. Vazníky jsou vzájemně

kloubově spojeny nad prostřední ŽB stěnou. Rozpětí vazníků je 18,200 m nad provozní částí a 23,650 m nad bazénovou halou. Zatížení je do vazníků přenášeno pomocí vaznic z lepeného lamelového dřeva, které jsou kloubově uloženy mezi vazníky. Osová vzdálenost vaznic je 2 m. Prostorovou stabilitu celé konstrukce zajišťují tři pole příčných ocelových ztužidel, umístěných v osově vzdálenosti po 20 m v podélném směru konstrukce. Osová vzdálenost kotvení táhel na vazníky je 2 m v příčném směru konstrukce, vždy přes 2 pole vaznic. Na příčných krajích objektu, jsou táhla pouze přes jedno pole vaznic. Stabilita v podélném směru je zajištěna pomocí dřevěných rozpěr, které jsou rozmístěny v osových vzdálenostech po 4 m v příčném směru. Dřevěné rozpěry jsou navrženy a umístěny stejně jako vaznice.

Prostorový výpočetní model z programu Scia Engineer



6.8.2 Zatížení

Zatížení na konstrukci je počítané jako plošné zatížení. Konstrukce je vymodelovaná ve 3D modelu v programu Scia Engineer, do kterého se zatížení zadávalo tedy jako plošné na celou plochu střešní konstrukce. Ve výpočtu je počítáno se zatížením stálým od vlastní tíhy konstrukce. Hodnoty zatížení vlastní tíhou prvků byly vygenerovány v programu Scia

Engineer. Další stále zatížení pak bylo uvažováno od střešního pláště a doplňkových předmětů, jako je osvětlení, spojovací prostředky, popřípadě vzduchotechnika. Dále je pak počítáno s proměnným zatížením užitným na střešní konstrukce a klimatickým zatížením od sněhu a větru.

6.8.3 Střešní plášť

Střešní plášť je navržený jako kompaktní jednoplášťový, kde jsou jednotlivé vrstvy vzájemně spojeny lepením v kompaktní celek, bez vzniku jakékoliv větrané vzduchové mezery. Krytina je použita plechová. Plechovou krytinu je do tepelné izolace možné kotvit pomocí speciálních příponek zatavených do asfaltu. Konstrukce je poměrně jednoduše proveditelná a hlavně z tepelně-technického hlediska funkční. Jako tepelná izolace byla vybrána izolace z pěnového skla Foamglas T4 o celkové tloušťce 300 mm. Izolace se plnoplošně lepí asfaltovým lepidlem. Celá skladba střešního pláště je lepena na bednění nosných dřevěných vazníků. Jako bednění jsou použity CLT křížem lepené panely, z důvodu jejich samonosné funkce, protože jsou kladeny na vaznice, které jsou od sebe vzdáleny 2 m. Výhodou systému je mimo jiné také velmi vysoká vodotěsnost a parotěsnost. Pokud vychází ve výpočtu kondenzační zóna do oblasti tepelné izolace, můžeme ji zde zcela vyloučit, protože z hlediska vlastností kompaktní skladby není v tomto místě možná. Podobně není možno uvažovat s odparem vodní páry z kompaktní skladby. Je zde také minimalizován vznik tepelných mostů, skladba není narušena žádnými dřevěnými profily ani kovovými kotevními prvky.

6.8.4 Vaznice

Zatížení od střešního pláště je na vazníky přenášeno pomocí vaznic. Střešní vaznice jsou obdélníkového průřezu o velikosti 180 x 280 mm a délce 5m. Vaznice jsou vyrobeny z lepeného lamelového dřeva GL 24h. Vaznice jsou kloubově uloženy mezi vazníky. Staticky vaznice působí jako prostý nosník. Vaznice jsou od sebe osově vzdáleny 2 m, roznášecí šířka vaznice je tedy 2 m. Velikost průřezu vyplynula z posouzení mezního stavu použitelnosti, který byl v posudku rozhodující. Vaznice jsou na vazníky kotveny svorníky a pomocí plechového T průřezu.

6.8.5 Krajiní vaznice

Krajiní vaznice jsou stejného obdélníkového průřezu jako vaznice o rozměrech 200 x 280 mm a délce 5 m. Také jsou vyrobené z lepeného lamelového dřeva GL24h. Krajiní vaznice mají o polovinu menší roznášecí šířku, tedy 1 m. Krajiní vaznice jsou kloubově uloženy na hlavní vazníky. Staticky krajiní vaznice působí jako prostý nosník. Jsou posuzovány zvlášť, protože jsou oproti vaznicím zatěžovány mnohem větším bočním větrem. Pod krajiní vaznice jsou ukotveny ztužující táhla. U krajních vaznic převládá osová síla, proto jsou posuzovány hlavně na vzpěrnou sílu. Krajiní vaznice jsou kloubově uloženy na hlavní vazníky. Staticky krajiní vaznice působí jako prostý nosník. Krajiní vaznice jsou na vazníky kotveny stejně jako vaznice pomocí svorníků a ocelového T průřezu.

6.8.6 Vazníky

Hlavní vazníky jsou obdélníkového průřezu o rozměru 220 x 1760 mm. Jsou vyrobeny z lepeného lamelového dřeva GL 24h. Vazníky jsou uloženy v osových vzdálenostech po 5 m. Roznášecí délka vazníků je tedy 5 m, krajiní vazníky mají roznášecí délku poloviční. Staticky vazníky působí jako dva prosté nosníky kloubově spojené nad prostřední nosnou stěnou haly. Rozpětí vazníků je 18,200 m nad provozní částí a 23,650 m nad bazénovou halou. Nad provozní částí jsou vazníky přímé a kloubově uložené pomocí čepových spojů posuvně na železobetonové nosné stěny. Nad samostatnou halou jsou vazníky obloukového tvaru z jedné strany kloubově uloženy na posuvnou podporu na železobetonové stěně. Druhý konec vazníků je kloubově uložený pomocí čepového spoje na pevnou podporu na železobetonovou základovou patku. Vzájemně jsou vazníky kloubově spojeny pomocí čepového spoje nad prostřední železobetonovou stěnou, na kterou jsou uloženy. Stabilitu nosníků zajišťují rozpěry v osových vzdálenostech po 4 m.

6.8.7 Ztužení konstrukce – táhla a rozpěry

Prostorovou stabilitu celé konstrukce zajišťují tři pole příčných ocelových ztužidel, umístěných v osově vzdálenosti po 20 m v podélném směru konstrukce. Tedy na obou podélných koncích haly a uprostřed. Střešní ocelové táhlo je navrženo Macalloy 460 se závitem M 12 o průměru táhla d 11 mm a délce 6,400 m. Táhlo je vyrobeno z oceli o pevnosti f_y 460 MPa a navrženo tak, aby odolávalo takové síle. Táhlo je kloubově připojeno čepem

k ocelovým T průřezům, pomocí nichž je přikotveno svorníky k vazníkům, těsně pod rozpěry. Osová vzdálenost kotvení je 4 m, vždy přes dvě pole vaznic. Všechny pruty jsou stejného druhu a ze stejného profilu.

Stabilita v podélném směru je zajištěna pomocí dřevěných rozpěr, které jsou rozmístěny v osových vzdálenostech po 4 m v příčném směru. Dřevěné rozpěry jsou navrženy a umístěny stejně jako vaznice. Rozpěra je obdélníkového průřezu o rozměrech 180 x 280 mm a délce 5 m. Rozpěra je vyrobená z lepeného lamelového dřeva GL 24h. Staticky rozpěra působí jako prostý nosník. Rozpěry jsou kloubově uloženy na hlavní vazníky. Dřevěné rozpěry jsou navrženy a umístěny stejně jako vaznice.

6.8.8 Kotvení prvků

Přípoj vazníku na železobetonovou patku

Hlavní vazník je na železobetonovou patku kotvený pomocí čepového ložiska. Vazník je k ložisku kotvený 14 svorníky třídy pevnosti 5.8 o průměru 24 mm pomocí vloženého styčnickového ocelového plechu z oceli S 355 tloušťky 16 mm. Tlaková síla nosníku je přenášena čelní deskou z oceli S 355 tloušťky 30 mm. Navržený čep je třídy pevnosti 5.8 o průměru 60 mm. Tloušťka čepových plechů je navržena na 20 mm. Čepové ložisko je kotveno k ŽB patce pomocí patního plechu o tloušťce 20 mm a čtyř kotevních šroubů třídy pevnosti 5.8 a průměru 24 mm. Veškeré plechy jsou k sobě navzájem přivařeny koutovými svary. Čepové ložisko je navrhováno na tlakovou a smykovou sílu od hlavního vazníku.

Výkres přípoje je přiložený v projektové dokumentaci.

Uložení vazníku na železobetonovou stěnu

Hlavní vazník je na železobetonovou stěnu uložený pomocí posuvného čepového ložiska. Vazník je k ložisku kotvený 20 svorníky třídy pevnosti 5.8 o průměru 24 mm pomocí vloženého styčnickového ocelového plechu z oceli S355 tloušťky 20 mm. Čelní deska přípoje je navržena z oceli S 355 tloušťky 20 mm. Navržený čep je třídy pevnosti 5.8 o průměru 40 mm. Tloušťka čepových plechů je navržena na 15 mm. Přípoj je kotvený pomocí plechů a šroubů do nosné stěny. Kotvení zajišťuje posun nosníku ve směru jeho osy. Tento posun eliminuje vzniklé vodorovné reakce od nosníku působící na nosné železobetonové stěny.

Veškeré plechy jsou k sobě navzájem přivařeny koutovými svary. Čepové ložisko je navrhováno na převládající tahovou a smykovou sílu od hlavního vazníku.

Výkres přípoje je přiložený v projektové dokumentaci.

Vzájemný kloubový přípoj vazníků včetně uložení na podporu

Hlavní vazníky jsou kloubově spojeny nad prostřední nosnou železobetonovou stěnou haly. Do vazníků je vložený ocelový styčnickový plech z oceli S355 tl. 20 mm. Styčnickový plech je kotvený pomocí 32 svorníků o třídě pevnosti 5.8 s průměrem 24 mm. Na styčnickový plech je koutovým svarem přivařena čelní deska z oceli S355 o tl. 26 mm. Na čelní desku jsou koutovými svary navařeny čepové plechy o tl. 20 mm. Kloubové spojení je zajištěno čepovým ložiskem s navrženým čepem třídy pevnosti 5.8 o průměru 50 mm. Čepové ložisko je navrženo na převládající normálovou a smykovou sílu hlavního vazníku. Posuvné uložení zajišťuje válcové ložisko připevněné k železobetonové nosné stěně. Posuvné válcové ložisko je zvoleno z důvodu vzniku velkých vodorovných reakcí do nosných železobetonových stěn. Uložení nosníků na válcové ložisko je zajištěno ocelovým plechem z oceli S355 tl. 60 mm. Plech je přivařený koutovým svarem na vložené styčnickové plechy. Úložní plech je posouzený na vznikající ohybový moment, umožňující natočení vazníků.

Výkres přípoje je přiložený v projektové dokumentaci.

6.9 Ochrana konstrukčních prvků

Všechny zabudované dřevěné konstrukční prvky budou opatřeny povrchovou úpravou. Prvky z lepeného lamelového dřeva jsou méně náchylné na napadení škůdci. Také lépe odolávají účinkům požáru. Veškeré spojovací a kotvicí ocelové prvky budou ošetřeny proti korozi pozinkováním.

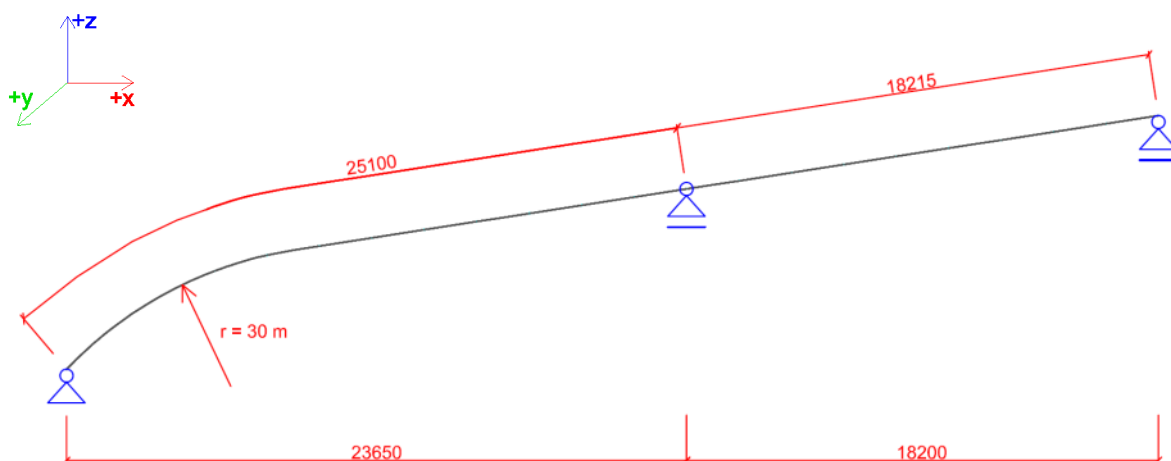
7 NÁVRH A STATICKÝ POSUDEK ZASTŘEŠENÍ BAZÉNOVÉ HALY

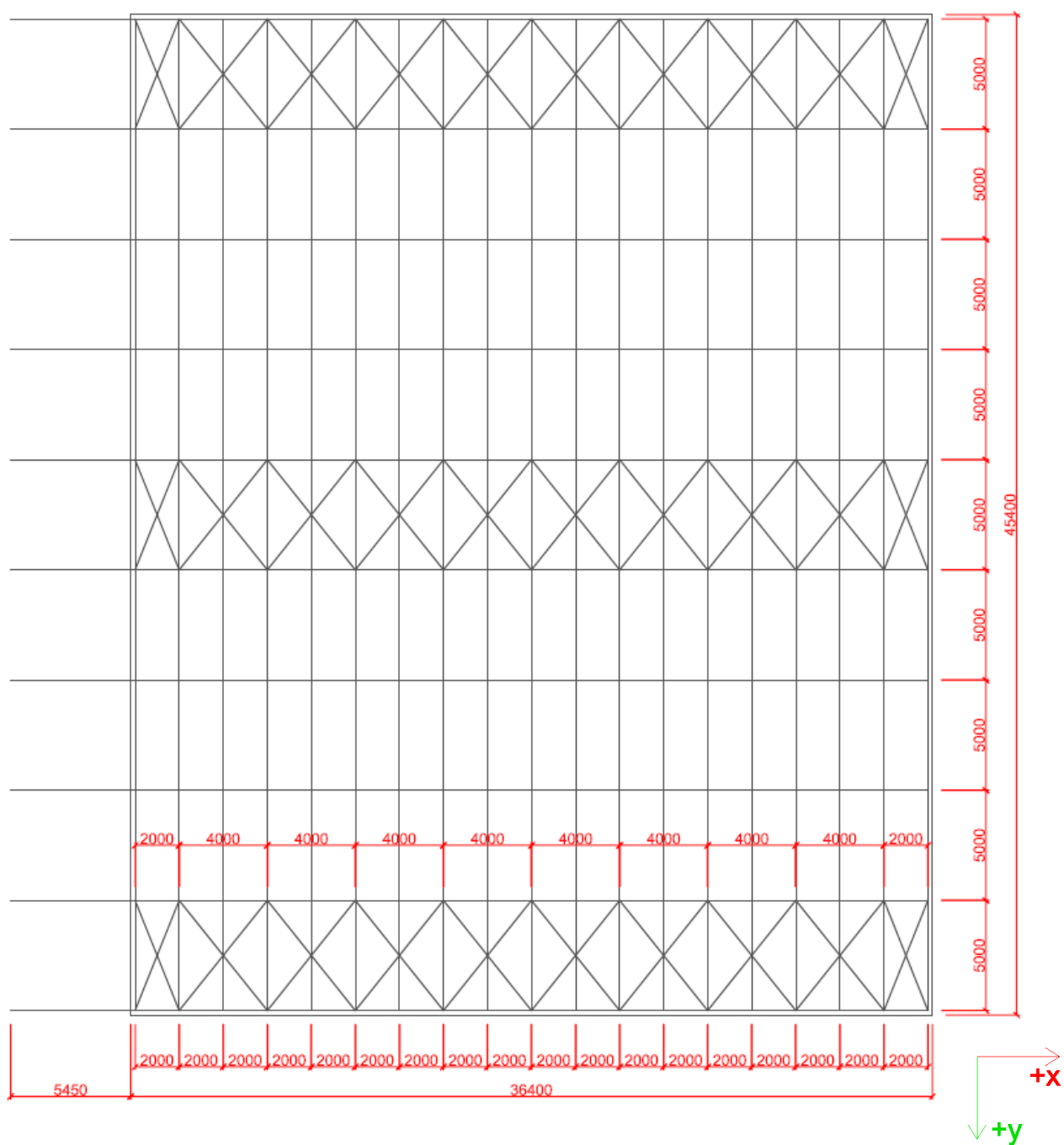
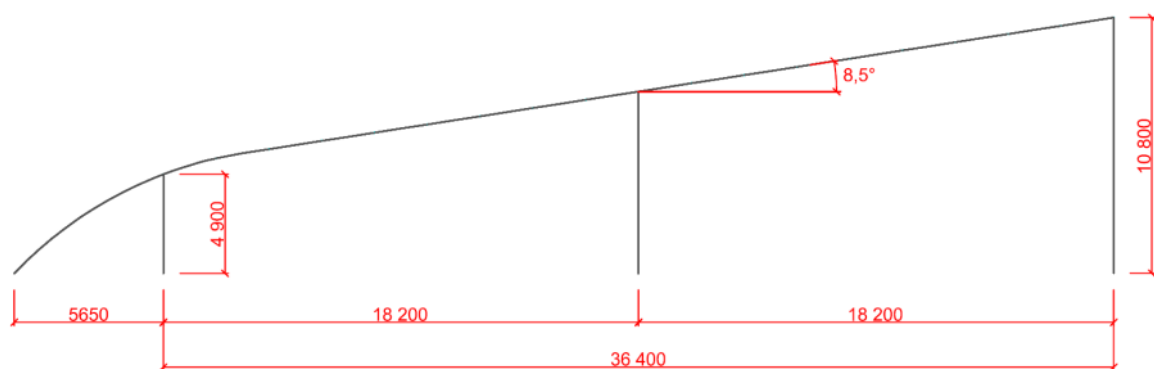
Celá nosná konstrukce zstřešení bazénové haly je na základě vstupních údajů vymodelovaná ve výpočetním programu Scia Engineer 2013 – studentská verze. Z výpočetního programu jsou převzaty příslušné hodnoty vnitřních sil konstrukce, na které je proveden následující statický posudek.

7.1 Schéma konstrukce

Konstrukce staticky působí jako dva prosté nosníky. Nad provozní částí je nosník přímý se sklonem $8,5^\circ$ o rozpětí 18,200 m. Nad částí bazénové haly je nosník z části přímý se sklonem $8,5^\circ$, z části zakřivený s celkovým rozpětím 23,650 m. Poloměr zakřivení je 17 m. Nosníky jsou kloubově uloženy na neposuvnou podporu na železobetonovou patku až na terén a kloubově uloženy na posuvné podpory na nosné železobetonové stěny. Nad prostřední podporou jsou vazníky vzájemně kloubově spojeny. Mezi vazníky jsou kloubově uloženy vaznice o délce 5m a osové vzdálenosti 2m. Ztužení haly je zajištěno pomocí ocelových táhel a rozpěr.

Schématické schéma konstrukce:



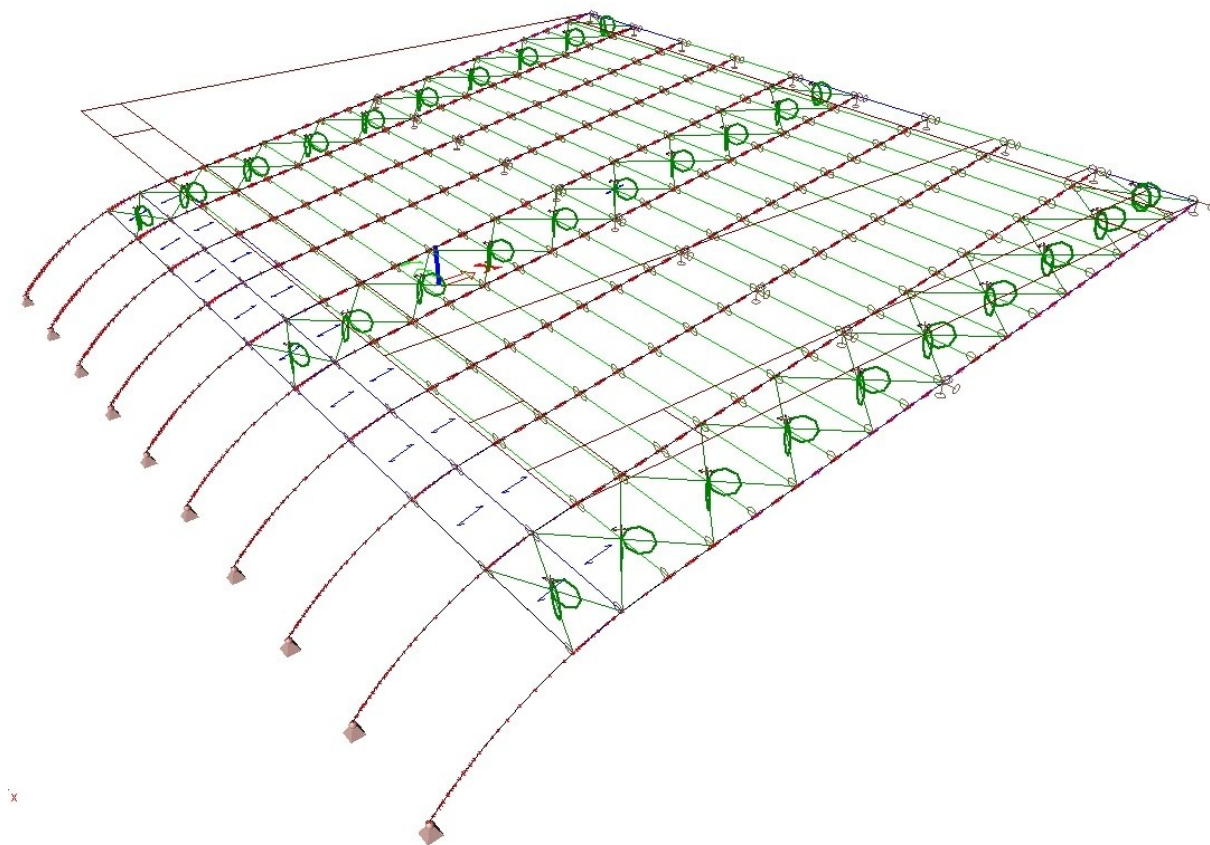


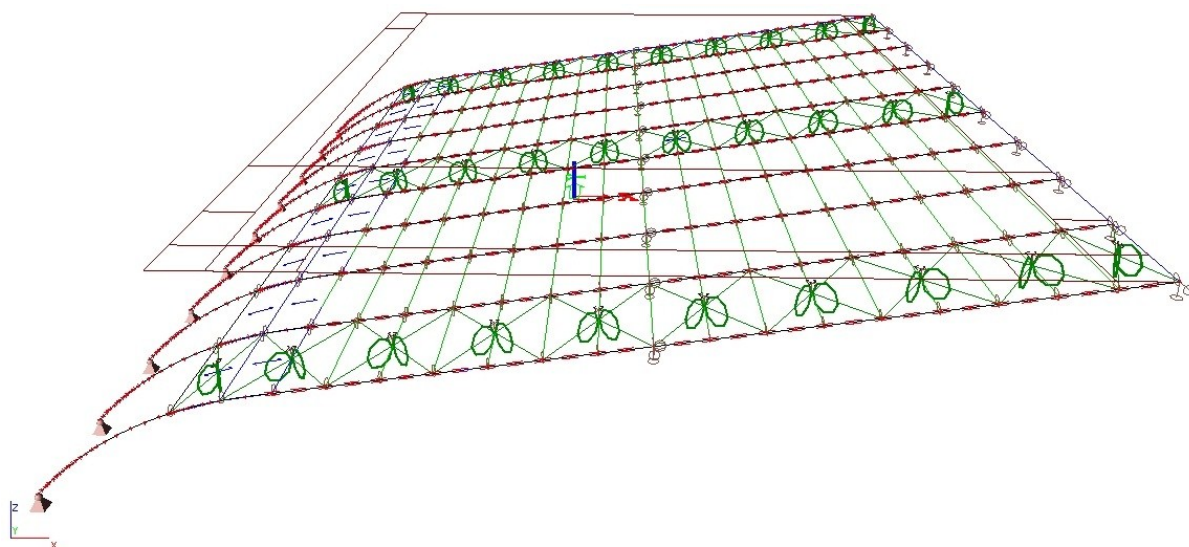
7.2 Výpočet v programu Scia Engineer 2013

Konstrukce je ve výpočetním programu vymodelována jako prostorová, obsahující všechny nosné konstrukční prvky zastřešení. Hlavní vazníky jsou kloubově uloženy podle popisu na žb patku, dále pak posuvně na nosné žb stěny. Konstrukce je stabilní při použití kloubových podpor, proto již dále není počítáno s možností polotuhého spojení. Vaznice, krajní vaznice a vzpěry jsou kloubově uloženy mezi vazníky. Ztužení konstrukce zajišťují kloubově připojená táhla. Táhla jsou omezena pouze na přenášení osových sil a s vyloučením tlaku. Veškeré zatížení je rozděleno do zatěžovacích stavů, ze kterých jsou vytvořeny kombinace zatížení pro dané výpočty (viz. kap. 7.6). Zatížení je nanášeno na celou střešní konstrukci pomocí zatěžovacích panelů a vygenerováno na jednotlivé pruty. Výpočet je proveden jako lineární.

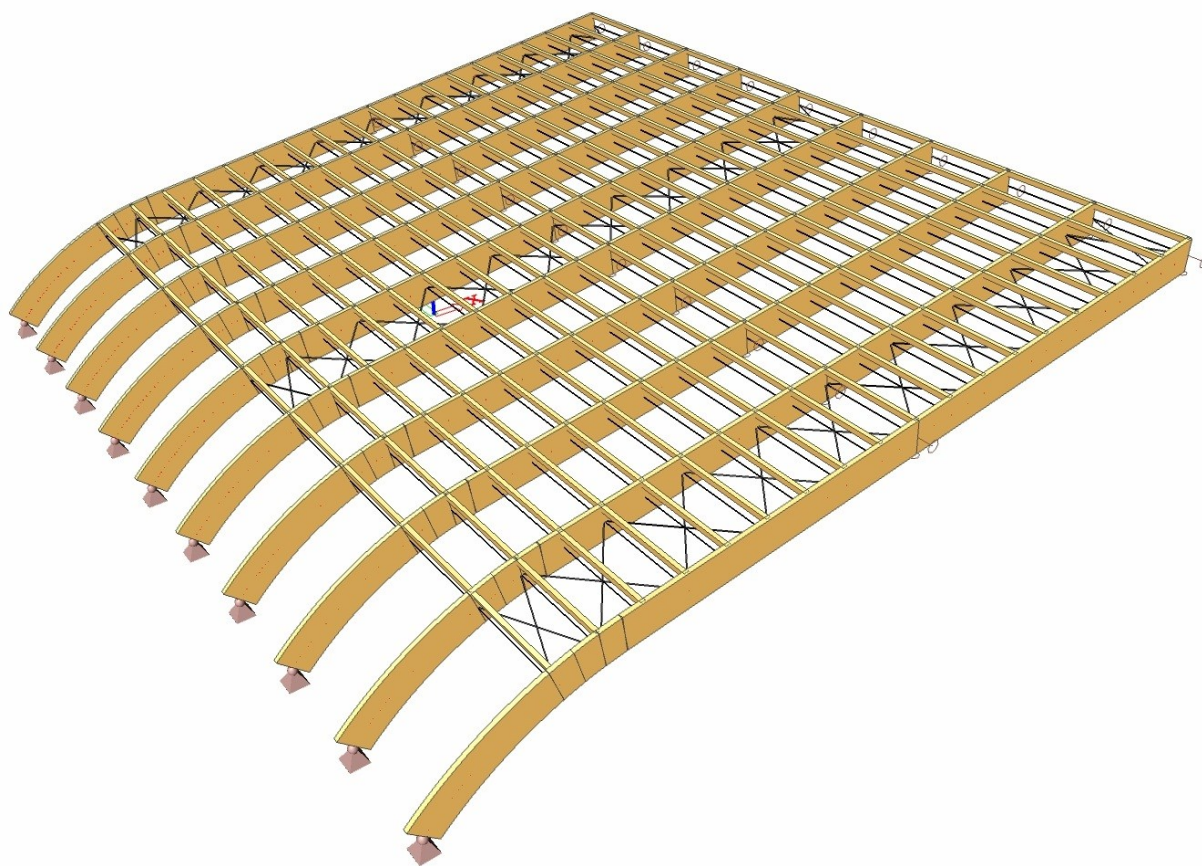
7.3 Výpočetní model konstrukce

Prostorový statický prutový model řešené konstrukce





Prostorový model konstrukce s přiznanými rozměry jednotlivých profilů



7.4 Vstupní údaje – Zatížení konstrukce

Do výpočetního programu se zatížení zadávalo plošně na celou střešní konstrukci. Ve výpočtu je počítáno se zatížením stálým od vlastní tíhy konstrukce. Hodnoty zatížení vlastní tíhou prvků byly vygenerovány v programu Scia Engineer. Další stále zatížení pak

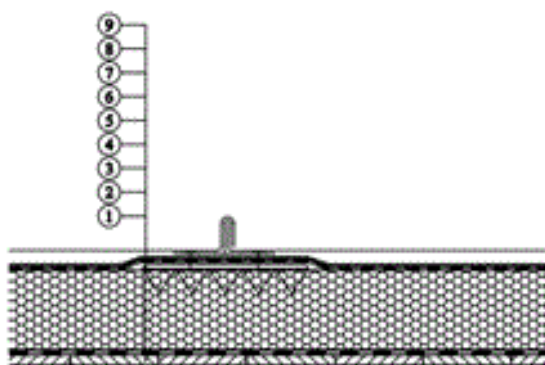
bylo uvažováno od střešního pláště a doplňkových předmětů, jako je osvětlení, spojovací prostředky, popřípadě vzduchotechnika. Dále je pak počítáno s proměnným zatížením užitným na střešní konstrukce a klimatickým zatížením od sněhu a větru.

7.4.1 Stálé zatížení

7.4.1.1 Vlastní tíha konstrukce

(vygenerováno z programu Scia Engineer)

7.4.1.2 Střešní plášť



Tabulka č.1: Vrstvy střešního pláště

VRSTVY STŘEŠNÍHO PLÁŠTĚ	g_k' [kN/m ²]
9 Plechová krytina - falcovaný plech tl. 0,6 mm, 4,8 kg/m ²	0,048
8 Separační vrstva Izoltech H 300, 300g/m ²	0,003
7 Podkl. asf. modifik. HI pás natavený Glastek 30 Sticker plus, 200 g/m ²	0,002
6 Horký asfalt AOSI 85/25, 4kg/m ²	0,004
5 TI Foamglas T4, tl. 300mm, 115 kg/m ³	0,345
4 Horký asfalt AOSI 85/25, 4kg/m ²	0,004
3 Parozábrana - pás s Al vložkou tl. 4 mm, 60 g/m ²	0,0006
2 Parozábrana - 1x SBS modifik. asf. pás Glastek 40 Speciál tl. 4 mm, 200 g/m ²	0,002
1 CLT křížem lepené panely, 3 vrstvý tl. 78 mm, 4,8 kN/m ³	0,3744
Akustický podhled Eurocoustic Atoll -Coral tl. 50 mm, 150 kg/m ³	0,075

Celkem ... $g_{k1} = \sum g_k' = 0,858 \text{ kN/m}^2$

$\sum g_k'$	0,858
-------------	--------------

7.4.1.3 Osvětlení, spojovací prostředky, vzduchotechnika

$$5\% \text{ ze stálého zatížení } g_{k1} \dots g_{k2} = 0,05 \cdot 0,858 \text{ kN/m}^2 = 0,043 \text{ kN/m}^2$$

7.4.1.4 Celkové stálé zatížení

$$\sum g_k = g_{k1} + g_{k2} = 0,858 + 0,043 = 0,901 \text{ kN/m}^2$$

7.4.1.5 Ostatní stálé zatížení

Vodorovné stabilitní síly

$$g_{k5} = 0,6 \text{ kN/m} \dots \text{ na nosníky v poli}$$

$$g_{k6} = g_{k5} / 2 = 0,6 / 2 = 0,3 \text{ kN/m} \dots \text{ na krajní nosníky}$$

7.4.2 Proměnná zatížení

7.4.2.1 Užité zatížení

Střecha kategorie H ... $q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$

7.4.2.2 Zatížení sněhem



Obr. 64: Mapa sněhových oblastí na území ČR [25]

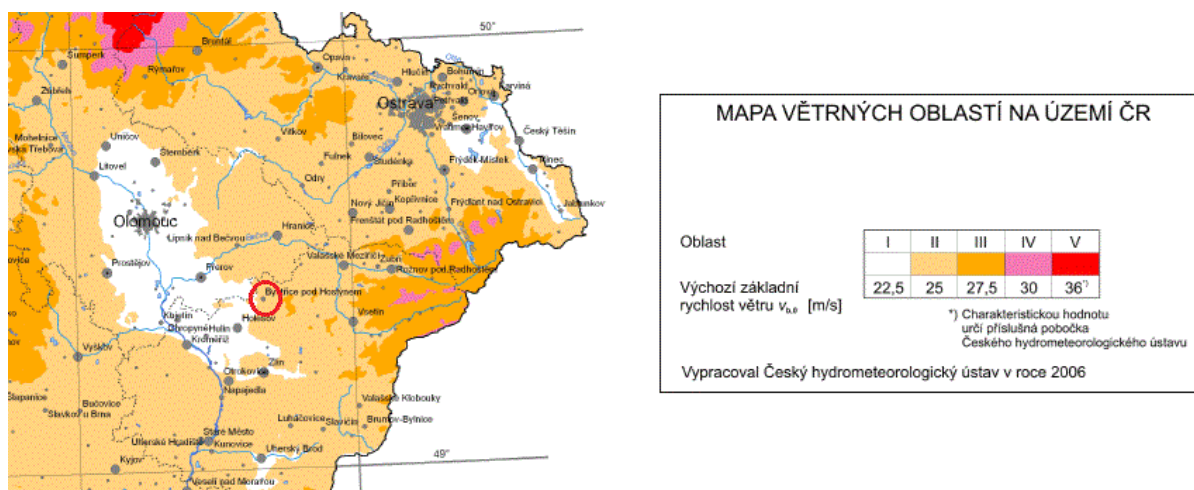
Charakteristická hodnota zatížení - oblast Bystřice p. H. => terén kategorie III. => $s_k = 1,19$ kPa

Typ střechy	pultová střecha bez sněžníků
Výška objektu	$h = 10,8 \text{ m}$ (předběžný návrh)
Vzdálenost nosníků	$s = 5 \text{ m}$
Sklon střechy	$\alpha = 8,5^\circ$
Tvarový součinitel	μ_1 pro $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ \Rightarrow \mu_1 = 0,8$
Typ krajiny	normální \Rightarrow součinitel expozice $C_e = 1,0$
Teplotní součinitel	$= 1,0$

Výpočet zatížení

$$s_{k1} = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,19 = 0,952 \text{ kN/m}^2$$

7.4.2.3 Zatížení větrem



Obr. 65: Mapa větrných oblastí na území ČR [26]

Výchozí základní rychlost větru	oblast Bystřice p. H. \Rightarrow oblast II $\Rightarrow v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$
Součinitel směru větru	$C_{dir} = 1,0$
Součinitel ročního období	$C_{season} = 1,0$
Základní rychlost větru	$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$
Referenční výška objektu	$h = 10,8 \text{ m} \leq b_{rovno} = 45,4 \text{ m}$ $\leq b_{kolmo} = 36,4 \text{ m}$ $\Rightarrow z_e = z_i = h = 10,8 \text{ m} \geq z_{min} = 5 \text{ m}$
Celková výška objektu	$z = 10,8 \text{ m}$
Terén kategorie III	$\Rightarrow z_0 0,3 \text{ m}, z_{min} = 5 \text{ m}$

Součinitel terénu

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,215$$

Součinitel drsnosti

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \frac{z}{z_0} = 0,215 \cdot \ln \frac{10,8}{0,3} = 0,770$$

Součinitel ortografie $c_0(z) = 1,0$

Charakteristická střední rychlost větru

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,770 \cdot 1,0 \cdot 25 = 19,25 \text{ m/s}$$

Součinitel turbulence $k_1 = 1,0$

Intenzita turbulence

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln \frac{z}{z_0}} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln \frac{10,8}{0,3}} = 0,279$$

Hustota vzduchu $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

Charakteristický maximální dynamický tlak

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2 = [1 + 7 \cdot 0,279] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 19,25^2 = 0,684 \text{ kN/m}^2$$

Tlak větru na konstrukci

Výsledný tlak větru na konstrukci - obecně

$$w_k = w_e + w_i$$

$$w_k = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) = 0,684 \cdot (c_{pe} - c_{pi})$$

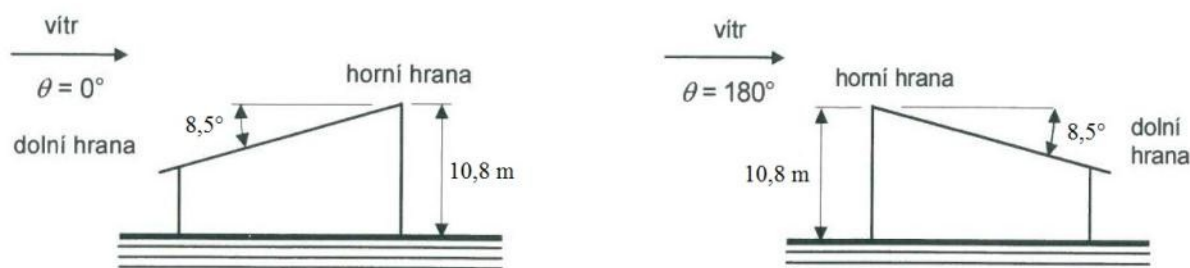
c_{pe} ... součinitel vnějšího tlaku

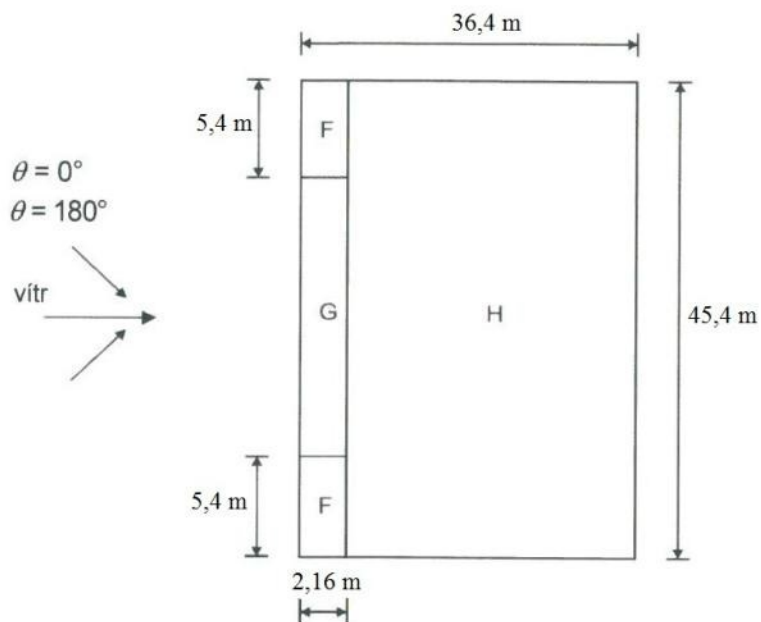
c_{pi} ... součinitel vnitřního tlaku ... $c_{pi} = 0,2$

... $c_{pi} = -0,3$

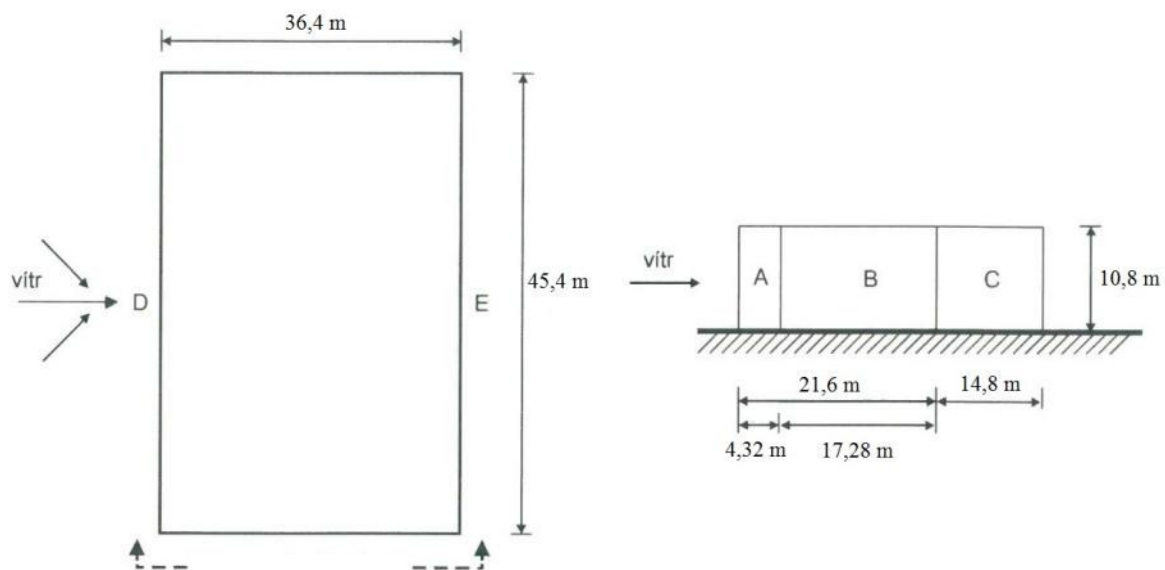
A) Vítr působící v rovině hlavního rámu – PŘÍČNÝ VÍTR

Obr. 66: Zatížení na střešní konstrukci





Obr. 67: Zatížení na svislé stěny



Parametry $h = 10,8 \text{ m}$

$b = 45,4 \text{ m}$

$d = 36,4 \text{ m}$

$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(45,4 \text{ m}; 2 \cdot 10,8 \text{ m}) = 21,6 \text{ m}$

sklon střechy $\alpha = 8,5^\circ \Rightarrow$ mezilehlá hodnota, součinitel stanoven interpolací

$\frac{h}{d} = \frac{10,8}{36,4} = 0,297 \Rightarrow$ mezilehlá hodnota, součinitel stanoven interpolací

Součinitele vnějšího tlaku - úhel $\theta = 0^\circ$

Oblast:

$$A \quad c_{pe,10}^A = -1,200$$

$$B \quad c_{pe,10}^B = -0,800$$

$$C \quad c_{pe,10}^C = -0,500$$

$$D \quad c_{pe,10}^D = 0,706$$

$$E \quad c_{pe,10}^E = -0,313$$

$$F^+ \quad c_{pe,10}^{F^+} = 0,070$$

$$F^- \quad c_{pe,10}^{F^-} = -1,420$$

$$G^+ \quad c_{pe,10}^{G^+} = 0,070$$

$$G^- \quad c_{pe,10}^{G^-} = -1,060$$

$$H^+ \quad c_{pe,10}^{H^+} = 0,070$$

$$H^- \quad c_{pe,10}^{H^-} = -0,495$$

Součinitele vnějšího tlaku - úhel $\theta = 180^\circ$

Oblast:

$$A \quad c_{pe,10}^A = -1,200$$

$$B \quad c_{pe,10}^B = -0,800$$

$$C \quad c_{pe,10}^C = -0,500$$

$$D \quad c_{pe,10}^D = 0,706$$

$$E \quad c_{pe,10}^E = -0,313$$

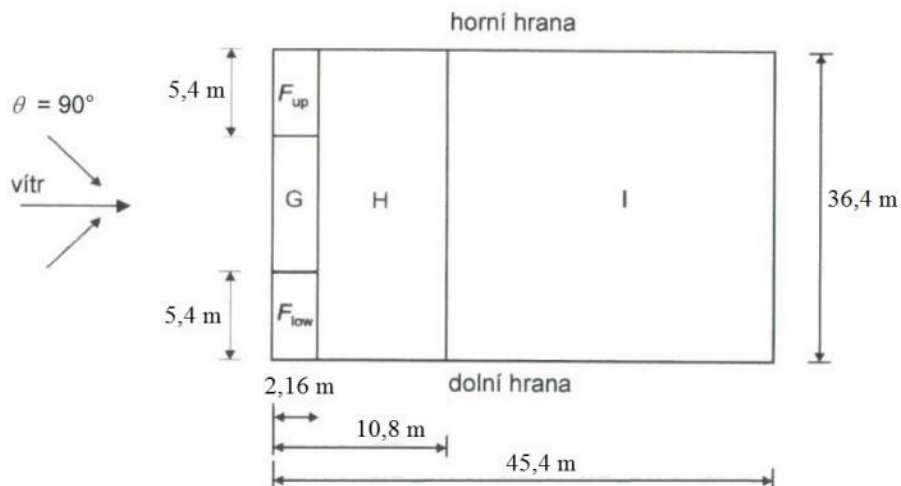
$$F^- \quad c_{pe,10}^{F^-} = -2,370$$

$$G^- \quad c_{pe,10}^{G^-} = -1,300$$

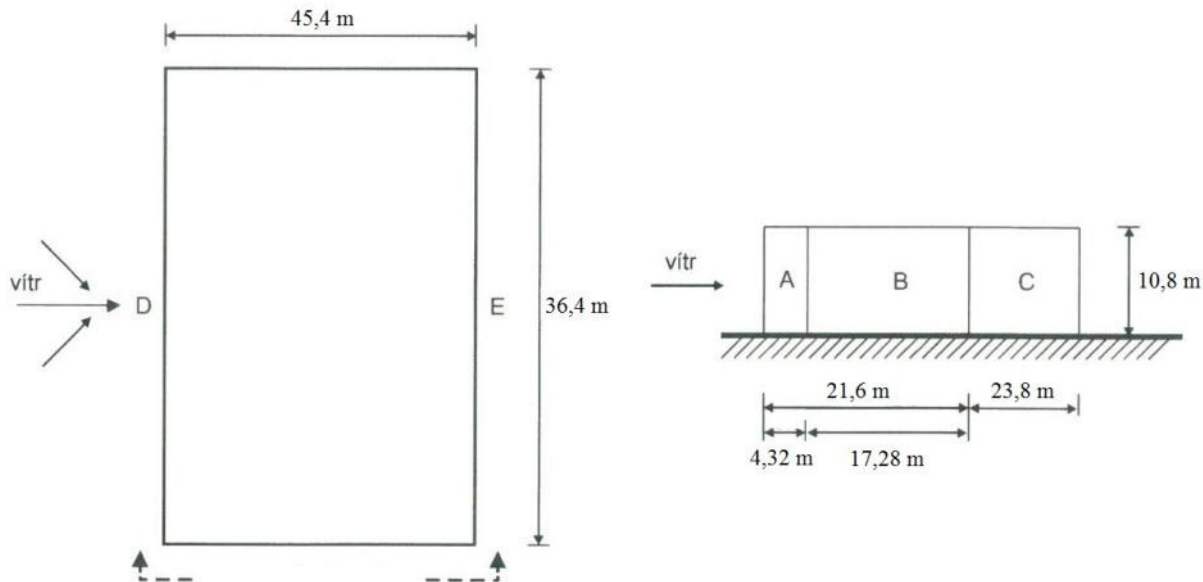
$$H^- \quad c_{pe,10}^{H^-} = -0,835$$

B) Vítr působící kolmo na rovinu hlavního rámu – PODÉLNÝ VÍTR

Obr. 68: Zatížení na střešní konstrukci



Obr. 69: Zatížení na svislé stěny



Parametry $h = 10,8 \text{ m}$
 $b = 36,4 \text{ m}$
 $d = 45,4 \text{ m}$
 $e = \min (b; 2 \cdot h) = \min (36,4 \text{ m}; 2 \cdot 10,8 \text{ m}) = 21,6 \text{ m}$

sklon střechy $\alpha = 8,5^\circ \Rightarrow$ mezilehlá hodnota, součinitel stanoven interpolací

$$\frac{h}{d} = \frac{10,8}{45,4} = 0,238 \leq 0,25$$

Součinitele vnějšího tlaku - úhel $\theta = 90^\circ$

Oblast:

A	$c_{pe,10}^A = -1,200$
B	$c_{pe,10}^B = -0,800$
C	$c_{pe,10}^C = -0,500$
D	$c_{pe,10}^D = 0,700$
E	$c_{pe,10}^E = -0,300$
F _{up} ⁻	$c_{pe,10}^{F_{up}^-} = -2,205$
F _{low} ⁻	$c_{pe,10}^{F_{low}^-} = -1,925$
G ⁻	$c_{pe,10}^{G^-} = -1,835$
H ⁻	$c_{pe,10}^{H^-} = -0,670$
I ⁻	$c_{pe,10}^{I^-} = -0,570$

C) VÝSLEDNÉ TLAKY VĚTRU NA KONSTRUKCI

$$w_k = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) = 0,684 \cdot (c_{pe} - c_{pi})$$

1.) PŘÍČNÝ VÍTR - $c_{pi,10} = +0,2$, úhel $\theta = 0^\circ$

$$\begin{aligned} w_k^A &= 0,684 \cdot (c_{pe,10}^A - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-1,200 - 0,2) = -0,958 \text{ kN/m}^2 \\ w_k^B &= 0,684 \cdot (c_{pe,10}^B - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-0,800 - 0,2) = -0,684 \text{ kN/m}^2 \\ w_k^C &= 0,684 \cdot (c_{pe,10}^C - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-0,500 - 0,2) = -0,479 \text{ kN/m}^2 \\ w_k^D &= 0,684 \cdot (c_{pe,10}^D - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (0,706 - 0,2) = 0,346 \text{ kN/m}^2 \\ w_k^E &= 0,684 \cdot (c_{pe,10}^E - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-0,313 - 0,2) = -0,351 \text{ kN/m}^2 \\ w_k^{F^+} &= 0,684 \cdot (c_{pe,10}^{F^+} - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (0,070 - 0,2) = -0,089 \text{ kN/m}^2 \\ w_k^{F^-} &= 0,684 \cdot (c_{pe,10}^{F^-} - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-1,420 - 0,2) = -1,108 \text{ kN/m}^2 \\ w_k^{G^+} &= 0,684 \cdot (c_{pe,10}^{G^+} - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (0,070 - 0,2) = -0,089 \text{ kN/m}^2 \\ w_k^{G^-} &= 0,684 \cdot (c_{pe,10}^{G^-} - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-1,060 - 0,2) = -0,862 \text{ kN/m}^2 \\ w_k^{H^+} &= 0,684 \cdot (c_{pe,10}^{H^+} - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (0,070 - 0,2) = -0,089 \text{ kN/m}^2 \\ w_k^{H^-} &= 0,684 \cdot (c_{pe,10}^{H^-} - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-0,495 - 0,2) = -0,475 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

2.) PŘÍČNÝ VÍTR - $c_{pi,10} = -0,3$, úhel $\theta = 0^\circ$

$$w_k^A = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^A - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-1,200 + 0,3) = -0,616 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^B = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^B - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-0,800 + 0,3) = -0,342 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^C = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^C - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-0,500 + 0,3) = -0,137 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^D = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^D - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (0,706 + 0,3) = 0,688 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^E = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^E - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-0,313 + 0,3) = -0,009 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{F+} = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^{F+} - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (0,070 + 0,3) = 0,253 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{F-} = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^{F-} - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-1,420 + 0,3) = -0,766 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{G+} = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^{G+} - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (0,070 + 0,3) = 0,253 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{G-} = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^{G-} - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-1,060 + 0,3) = -0,520 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{H+} = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^{H+} - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (0,070 + 0,3) = 0,253 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{H-} = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^{H-} - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-0,495 + 0,3) = -0,133 \text{ kN/m}^2$$

3.) PŘÍČNÝ VÍTR - $c_{pi,10} = +0,2$, úhel $\theta = 180^\circ$

$$w_k^A = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^A - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-1,200 - 0,2) = -0,958 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^B = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^B - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-0,800 - 0,2) = -0,684 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^C = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^C - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-0,500 - 0,2) = -0,479 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^D = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^D - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (0,706 - 0,2) = 0,346 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^E = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^E - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-0,313 - 0,2) = -0,351 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{F-} = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^{F-} - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-2,370 - 0,2) = -1,758 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{G-} = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^{G-} - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-1,300 - 0,2) = -1,026 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{H-} = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^{H-} - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-0,835 - 0,2) = -0,708 \text{ kN/m}^2$$

4.) PŘÍČNÝ VÍTR - $c_{pi,10} = -0,3$, úhel $\theta = 180^\circ$

$$w_k^A = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^A - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-1,200 + 0,3) = -0,616 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^B = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^B - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-0,800 + 0,3) = -0,342 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^C = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^C - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-0,500 + 0,3) = -0,137 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^D = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^D - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (0,706 + 0,3) = 0,688 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^E = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^E - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-0,313 + 0,3) = -0,009 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{F-} = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^{F-} - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-2,370 + 0,3) = -1,416 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{G-} = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^{G-} - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-1,300 + 0,3) = -0,684 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^H = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^H - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-0,835 + 0,3) = -0,366 \text{ kN/m}^2$$

5.) PODÉLNÝ VÍTR - $c_{pi,10} = +0,2$, úhel $\theta = 90^\circ$

$$w_k^A = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^A - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-1,200 - 0,2) = -0,958 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^B = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^B - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-0,800 - 0,2) = -0,684 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^C = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^C - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-0,500 - 0,2) = -0,479 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^D = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^D - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (0,700 - 0,2) = 0,342 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^E = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^E - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-0,300 - 0,2) = -0,342 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{Fup} = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^{Fup} - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-2,205 - 0,2) = -1,645 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{Flow} = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^{Flow} - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-1,925 - 0,2) = -1,454 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^G = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^G - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-1,835 - 0,2) = -1,392 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^H = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^H - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-0,670 - 0,2) = -0,595 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^I = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^I - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-0,570 - 0,2) = -0,527 \text{ kN/m}^2$$

6.) PODÉLNÝ VÍTR - $c_{pi,10} = -0,3$, úhel $\theta = 90^\circ$

$$w_k^A = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^A - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-1,200 + 0,3) = -0,616 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^B = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^B - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-0,800 + 0,3) = -0,342 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^C = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^C - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-0,500 + 0,3) = -0,137 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^D = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^D - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (0,700 + 0,3) = 0,684 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^E = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^E - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-0,300 + 0,3) = 0,000 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{Fup} = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^{Fup} - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-2,205 + 0,3) = -1,303 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{Flow} = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^{Flow} - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-1,925 + 0,3) = -1,112 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^G = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^G - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-1,835 + 0,3) = -1,050 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^H = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^H - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-0,670 + 0,3) = -0,253 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^I = 0,684 \cdot (c_{pe,10}^I - c_{pi,10}) = 0,684 \cdot (-0,570 - 0,2) = -0,185 \text{ kN/m}^2$$

7.5 Kombinace zatěžovacích stavů

Postupnou analýzou bylo nakonec vytvořeno 13 zatěžovacích stavů s označením LC1 až LC14, které by nejvíce ovlivnily vnitřní síly a deformace konstrukce. Užité zatížení střechy je považováno jako střednědobé zatížení, zatížení od sněhu a větru pak jako

krátkodobé zatížení. Užité zatížení, zatížení sněhem a zatížení větrem bylo do program Scia Engineer zadáváno jako výběrové.

Kombinace zatížení pro posouzení na MSÚ byly vytvořeny dle normy ČSN EN na základě vztahu:

$$\sum_{j \leq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} ,$$

a pro posouzení na MSP dle vztahu (pro okamžitý průhyb w_{inst}):

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

kde:

$G_{k,j}$... je charakteristická hodnota j-tého stálého zatížení

$Q_{k,1}$... je charakteristická hodnota hlavního proměnného zatížení

$Q_{k,i}$... je charakteristická hodnota vedlejšího i-tého proměnného zatížení

$\gamma_{G,j}$... je dílčí součinitel j-tého stálého zatížení

$\gamma_{Q,1}$... je dílčí součinitel hlavního proměnného zatížení

$\gamma_{Q,i}$... je dílčí součinitel i-tého proměnného zatížení

$\psi_{0,i}$... je součinitel rpo kombinační hodnotu proměnného zatížení

7.6 Výpis zatěžovacích stavů

Výpis zatěžovacích stavů tak, jak byly zadávány do program Scia Engineer. Užité zatížení i zatížení sněhem je také zadáváno jako výběrové zatížení, z důvodu, že je málo pravděpodobné, že tyto zatížení budou působit současně.

Vykreslení jednotlivých zatěžovacích stavů na konstrukci přiloženo v příloze č.1.

Tab. 2: Výpis zatěžovacích stavů, zadávaných do programu Scia Engineer

Číslo	Zatěžovací stav	Skupina zatížení
LC1	VLASTNÍ TÍHA	Vlastní tíha směr -Z
LC2	STÁLÉ ZATÍŽENÍ (plášť, ostatní)	Stálé zatížení
LC3	UŽITNÉ ZATÍŽENÍ	Nahodilé zatížení – vítr výběrové
LC4	SNÍH	Nahodilé zatížení – vítr výběrové

LC5	VÍTR, +0,2, 0°, +, plus na stěnu	Nahodilé zatížení – vítr výběrové
LC6	VÍTR, -0,3, 0°, +, plus na stěnu	Nahodilé zatížení – vítr výběrové
LC7	VÍTR, +0,2, 0°, -, plus na stěnu	Nahodilé zatížení – vítr výběrové
LC8	VÍTR, -0,3, 0°, -, plus na stěnu	Nahodilé zatížení – vítr výběrové
LC9	VÍTR, +0,2, 180°, plus na stěnu	Nahodilé zatížení – vítr výběrové
LC10	VÍTR, -0,3, 180°, plus na stěnu	Nahodilé zatížení – vítr výběrové
LC11	VÍTR, +0,2, 90°, plus na stěnu	Nahodilé zatížení – vítr výběrové
LC12	VÍTR, -0,3, 90°, plus na stěnu	Nahodilé zatížení – vítr výběrové
LC13	STABILITNÍ SÍLY	Stálé zatížení

7.7 Mezní stav únosnosti - kombinace

Tab. 3: Kombinace z programu Scia Engineer: EN – MSÚ (STR/GEO) Soubor B

Typ	Číslo	Název zatěžovacího stavu	Součinitel
EN - MSÚ	LC1	VLASTNÍ TÍHA	1,00
	LC2	STŘEŠNÍ PLÁŠŤ	1,00
	LC3	UŽITNÉ ZATÍŽENÍ	1,00
	LC4	SNÍH	1,00
	LC5	VÍTR, +0,2, 0°, +, plus na stěnu	1,00
	LC6	VÍTR, -0,3, 0°, +, plus na stěnu	1,00
	LC7	VÍTR, +0,2, 0°, -, plus na stěnu	1,00
	LC8	VÍTR, -0,3, 0°, -, plus na stěnu	1,00
	LC9	VÍTR, +0,2, 180°, plus na stěnu	1,00
	LC10	VÍTR, -0,3, 180°, plus na stěnu	1,00
	LC11	VÍTR, +0,2, 90°, plus na stěnu	1,00
	LC12	VÍTR, -0,3, 90°, plus na stěnu	1,00
	LC13	STABILITNÍ SÍLY	1,00

7.8 Mezní stav použitelnosti - kombinace

Kombinace od stálého zatížení

Tab. 4: Kombinace z programu Scia Engineer: EN–MSP Charakteristická –STÁLÉ ZATÍŽENÍ

Typ	Číslo	Název zatěžovacího stavu	Součinitel
EN – MSP STÁLÉ	LC1	VLASTNÍ TÍHA	1,00
	LC2	STŘEŠNÍ PLÁŠŤ	1,00
	LC13	STABILITNÍ SÍLY	1,00

Kombinace od užitého zatížení

Tab. 5: Kombinace z programu Scia Engineer: EN–MSP Charakteristická –UŽITNÉ ZATÍŽENÍ

Typ	Číslo	Název zatěžovacího stavu	Součinitel
EN – MSP UŽITNÉ	LC3	UŽITNÉ ZATÍŽENÍ	1,00

Kombinace od zatížení sněhem

Tab. 6: Kombinace z programu Scia Engineer: EN – MSP Charakteristická – SNÍH

Typ	Číslo	Název zatěžovacího stavu	Součinitel
EN – MSP SNÍH	LC4	SNÍH	1,00

Kombinace od zatížení větrem

Tab. 7: Kombinace z programu Scia Engineer: EN – MSP Charakteristická – VÍTR

Typ	Číslo	Název zatěžovacího stavu	Součinitel
EN – MSP VÍTR	LC5	VÍTR, +0,2, 0°, +, plus na stěnu	1,00
	LC6	VÍTR, -0,3, 0°, +, plus na stěnu	1,00
	LC7	VÍTR, +0,2, 0°, -, plus na stěnu	1,00
	LC8	VÍTR, -0,3, 0°, -, plus na stěnu	1,00
	LC9	VÍTR, +0,2, 180°, plus na stěnu	1,00
	LC10	VÍTR, -0,3, 180°, plus na stěnu	1,00
	LC11	VÍTR, +0,2, 90°, plus na stěnu	1,00
	LC12	VÍTR, -0,3, 90°, plus na stěnu	1,00

7.9 Posouzení vybraných prvků a spojů

Předmětem posuzování budou následující prvky:

- Střešní vaznice;
- Krajiní vaznice;
- Hlavní vazník;
- Ztužující konstrukce – střešní ocelové táhlo;
- Ztužující konstrukce – dřevěné rozpěry;
- Přípoj dřevěných vaznic na vazníky
- Přípoj ocelového táhla na vazníky;
- Přípoj a uložení vazníku na železobetonovou patku;
- Vzájemný přípoj obou vazníků a jejich uložení na železobetonovou stěnu;
- Přípoj a uložení vazníku na železobetonou nosnou stěnu.

7.9.1 STŘEŠNÍ VAZNICE

Předmětem posudku je střešní vaznice obdélníkového průřezu o velikosti 180 x 280 mm a délce 5m. Vaznice je vyrobená z lepeného lamelového dřeva GL 24h. Vaznice je kloubově uloženy mezi vazníky. Staticky vaznice působí jako prostý nosník. Vaznice jsou od sebe osově vzdáleny 2 m, roznášecí šířka vaznice je tedy 2 m.

Schéma vaznice

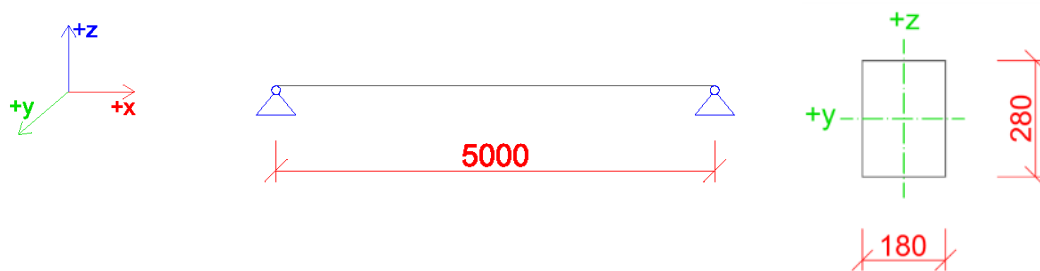
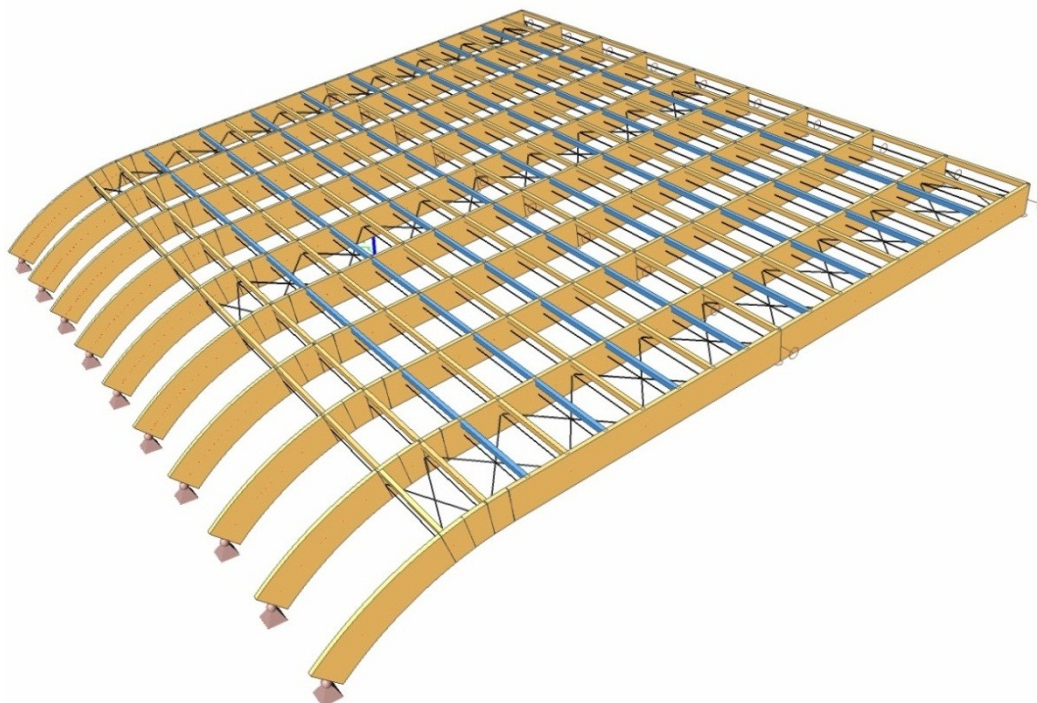


Schéma vaznice v modelu z programu Scia Engineer



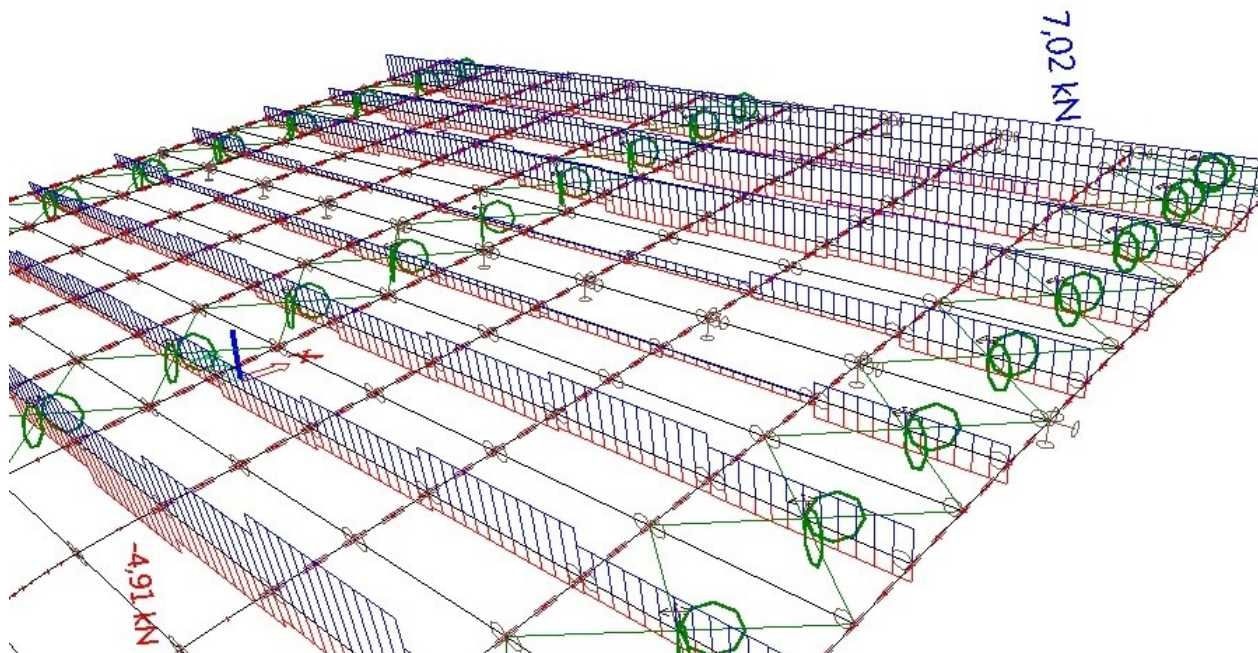
Vnitřní síly na vaznici

Pro výpočet je uvažována nejnepříznivější maximální hodnota vnitřních sil. Hodnoty jsou z výpočetního programu Scia Engineer. Vykreslení jednotlivých vnitřních sil ve vaznicích je také přiloženo v příloze č.2.

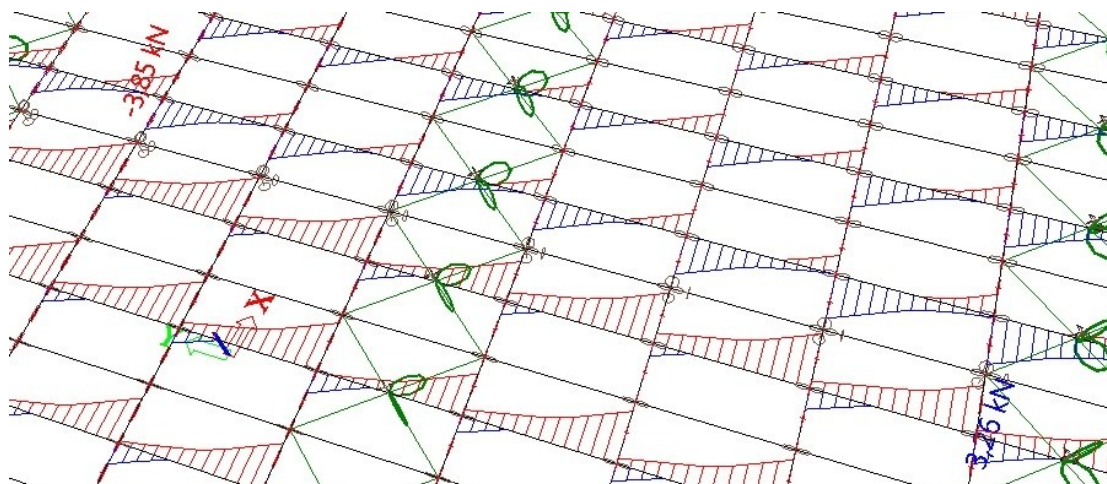
VNITŘNÍ SÍLY	HODNOTY	
$M_{y,d}$	+ 18,75 kNm	- 3,90 kNm
$M_{z,d}$	+ 6,37 kNm	- 3,67 kNm
$V_{y,d}$	+ 3,26 kN	- 3,85 kN
$V_{z,d}$	+ 14,95 kN	- 14,95 kN
N_d	+ 7,02 kN	- 4,91 kN

Vnitřní síly z výpočetního programu Scia Engineer

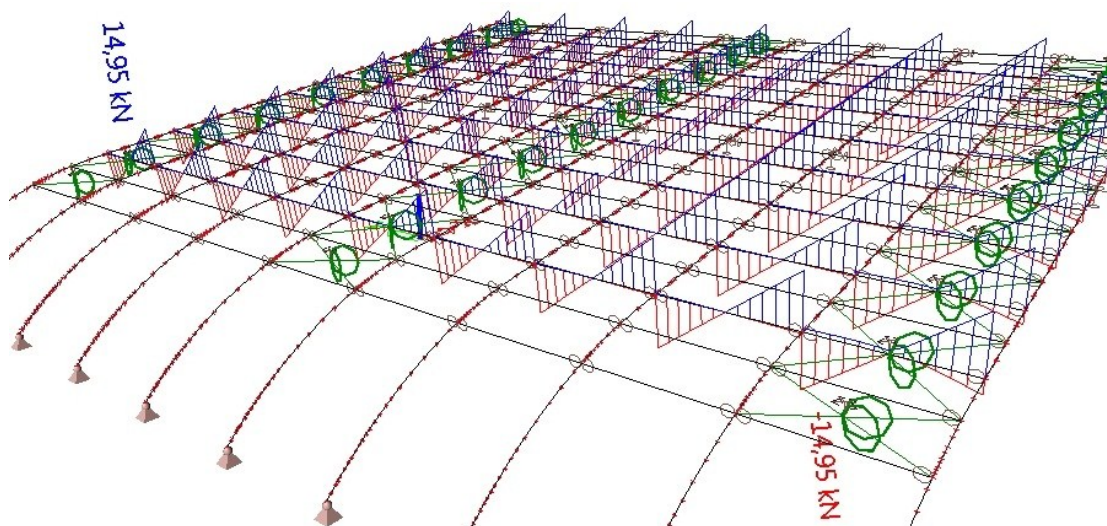
Normálová síla N_d



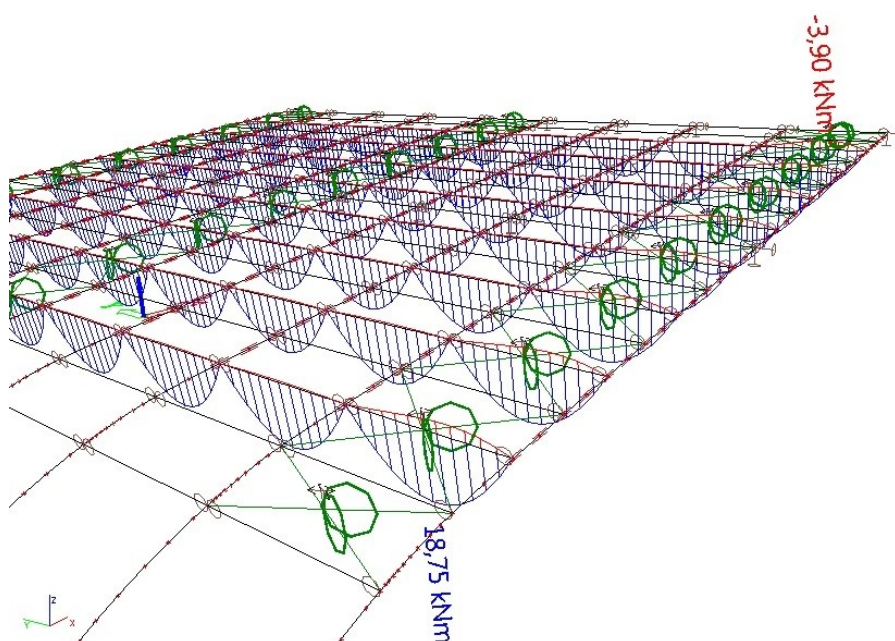
Posouvající síla $V_{y,d}$



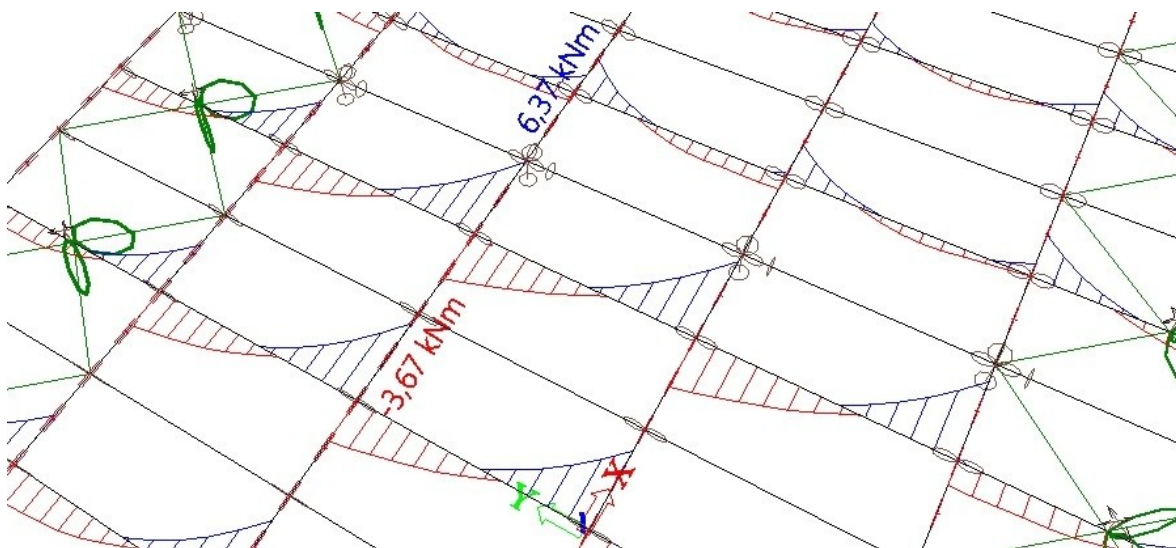
Posouvající síla $V_{z,d}$



Ohybový moment $M_{y,d}$



Ohybový moment $M_{z,d}$



NÁVRH VAZNICE: průřez 180 x 280 mm
délka 5 m
z lepeného lamelového dřeva GL 24h
třída provozu III – krytý bazén - na straně bezpečné

Průřezové + materiálové charakteristiky

Třída pevnosti pro homogenní lepené lamelové dřevo GL 24h:

- Pevnost v ohybu $f_{m,g,k} = 24 \text{ MPa}$
- Pevnost v tahu
 - Rovnoběžně s vlákny $f_{t,0,g,k} = 16,5 \text{ MPa}$
 - Kolmo k vláknům $f_{t,90,g,k} = 0,4 \text{ MPa}$
- Pevnost v tlaku
 - Rovnoběžně s vlákny $f_{c,0,g,k} = 24 \text{ MPa}$
 - Kolmo k vláknům $f_{c,90,g,k} = 2,7 \text{ MPa}$
- Pevnost ve smyku $f_{v,g,k} = 2,7 \text{ MPa}$
- Modul pružnosti E
 - Rovnoběžně s vlákny $E_{0,mean,g} = 11\,600 \text{ MPa}$
 - 5% kvantil, rovnoběžně s vlákny $E_{0,05,g} = 9\,400 \text{ MPa}$
 - Kolmo k vláknům $E_{90,mean,g} = 390 \text{ MPa}$
- Hustota $\rho_{g,k} = 380 \text{ kg/m}^3$

Délka prutu

$$l_{ef} = l = 5 \text{ m}$$

Plocha průřezu

$$A = b \cdot h = 180 \cdot 280 = 50\,400 \text{ mm}^2$$

Moment setrvačnosti

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 180 \cdot 280^3 = 329,3 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 280 \cdot 180^3 = 136,1 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Průřezový modul

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 180 \cdot 280^2 = 2352,0 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 280 \cdot 180^2 = 1512,0 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

POSOUZENÍ VAZNICE

A) Mezní stav únosnosti – Posouzení na prostý ohyb

- nosník je po celé délce zajištěn proti příčné a torzní nestabilitě

Návrhová pevnost v ohybu

$$f_{m,g,d} = f_{m,y,d} = f_{m,z,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{24}{1,25} = 13,44 \text{ MPa}$$

$k_{mod} = 0,7$... modifikační součinitel pevnosti pro třídy provozu a třídy trvání zatížení
(rozhodující je krátkodobé zatížení) – třída provozu III

$\gamma_m = 1,25$... pro LLD ... dílčí součinitel vlastnosti materiálu

Návrhové napětí za ohybu k hlavním osám

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{18,75}{2352,0 \cdot 10^3} = 7,97 \text{ MPa} \leq f_{m,y,d} = 13,44 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{6,37}{1512,0 \cdot 10^3} = 4,21 \text{ MPa} \leq f_{m,z,d} = 13,44 \text{ MPa}$$

Podmínka pro mezní stav únosnosti

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{7,97}{13,44} + 0,7 \cdot \frac{4,21}{13,44} \leq 1 \quad k_m = 0,7 \dots \text{součinitel pro obdélníkové průřezy}$$

$$0,81 \leq 1$$

→ Vyhovuje, využití průřezu 81%

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$0,7 \cdot \frac{7,97}{13,44} + \frac{4,22}{13,44} \leq 1 \quad k_m = 0,7 \dots \text{součinitel pro obdélníkové průřezy}$$

$$0,73 \leq 1$$

→ Vyhovuje, využití průřezu 73 %

B) Mezní stav únosnosti – Kombinace ohybu s vlivem klopení a tlaku

– ověření návrhu na straně bezpečné bez zajištění proti ztrátě stability

Návrhová pevnost v tlaku

$$f_{c,0,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,g,k}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{24}{1,25} = 13,44 \text{ MPa}$$

$k_{mod} = 0,7 \dots$ modifikační součinitel pevnosti pro třídy provozu a třídy trvání zatížení
(rozhodující je krátkodobé zatížení) – třída provozu III

$\gamma_m = 1,25 \dots$ pro LLD ... dílčí součinitel vlastnosti materiálu

Návrhové normálové napětí v prostém tlaku

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{7,02 \cdot 10^3}{50,4 \cdot 10^3} = 0,14 \text{ MPa}$$

Poloměr setrvačnosti

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{136,1 \cdot 10^6}{50,4 \cdot 10^3}} = 51,96 \text{ mm}$$

Štíhlostní poměry

$$\lambda_z = \frac{l_{ef}}{i_z} = \frac{5000}{51,96} = 96,23$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,g,k}}{E_{0,05,g}}} = \frac{96,23}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot 10^6}{9400 \cdot 10^6}} = 1,55$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (1,55 - 0,3) + 1,55^2] = 1,76$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,76 + \sqrt{1,76^2 - 1,55^2}} = 0,38$$

Kritické napětí v ohybu

$$l_{ef} = 1 \cdot 0,9 = 5,0 \cdot 0,9 = 4,5 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,180^2}{0,280 \cdot 4,5} \cdot 9\,400 \cdot 10^{-6} = 188,54 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,g,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24,0}{188,54}} = 0,357$$

Součinitel v důsledku příčné a torzní nestability

$$k_{crit} = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} & \text{pro } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{pro } 1,4 \leq \lambda_{rel,m} \end{array} \right\}$$

$$k_{crit} = 1$$

Posouzení napětí v ohybu s vlivem klopení – z roviny nosníku

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,g,d}} \leq 1$$

$$\frac{7,97}{1 \cdot 13,44} \leq 1$$

$$0,59 \leq 1$$

→ Vyhovuje

Podmínka pro kombinaci napětí v ohybu s vlivem klopení a vzpěrném tlaku – z roviny nosníku

$$\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,g,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,o,g,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{7,97}{1 \cdot 13,44} \right)^2 + \frac{0,14}{0,38 \cdot 13,44} \leq 1$$

$$0,38 \leq 1$$

→ Vyhovuje

C) Mezní stav únosnosti – Posouzení na smyk

Návrhová pevnost ve smyku

$$f_{v,g,d} = f_{v,y,d} = f_{v,z,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{2,7}{1,25} = 1,51 \text{ MPa}$$

$k_{\text{mod}} = 0,7$... modifikační součinitel pevnosti pro třídy provozu a třídy trvání zatížení
(rozhodující je krátkodobé zatížení)

$\gamma_m = 1,25$... pro LLD ... dílčí součinitel vlastnosti material

Šířka příslušné části prvku

$$b_{\text{ef}} = k_{\text{cr}} \cdot b = 0,67 \cdot 180 = 120,6 \text{ mm} = 0,121 \text{ m}$$

$k_{\text{cr}} = 0,67$... pro LLD ... součinitel trhlin pro únosnost ve smyku

Návrhové napětí ve smyku k hlavním osám

$$\tau_{v,d,y} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{s,d,y}}{b_{\text{ef}} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{3,85}{0,121 \cdot 0,280} = 0,17 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d,z} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{s,d,z}}{b_{\text{ef}} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{14,95}{0,121 \cdot 0,280} = 0,66 \text{ MPa}$$

Dvojosá napjatost ve smyku

$$\frac{\sqrt{\tau_{v,y}^2 + \tau_{v,z}^2}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sqrt{0,17^2 + 0,66^2}}{1,51} \leq 1$$

$$0,45 \leq 1$$

→ Vyhovuje

D) Mezní stav použitelnosti

Hodnoty okamžitého průhybu w_{inst} vaznice jsou získány z výpočetního programu Scia Engineer. Okamžitý průhyb je rozdělený na průhyb od stálého zatížení, zatížení sněhem a zatížení větrem. Konečná deformace je pak spočítána pro kvazistálou kombinaci zatížení. Vykreslení okamžitých průhybů střešních vaznic je přiloženo v příloze č. 2.

Hodnoty okamžitého průhybu – z výpočetního programu Scia Engineer

OKAMŽITÝ PRŮHYB	OZNAČENÍ	HODNOTA [MM]	
		SMĚR Y	SMĚR Z
OD STÁLÉHO ZATÍŽENÍ	$W_{INST,ST}$	0,963	4,468
OD ZATÍŽENÍ SNĚHEM	$W_{INST,SN}$	0,343	4,224
OD ZATÍŽENÍ VĚTREM	$W_{INST,VITR}$	0,341	1,150

Délka průhybu $l_y = l_z = 5 \text{ m} = 5\,000 \text{ mm}$

Výsledný okamžitý průhyb

$$w_{inst,y} = w_{inst,st,y} + w_{inst,sn,y} + w_{inst,vitr,y} = 0,963 + 0,343 + 0,341 = 1,647 \text{ mm}$$

$$w_{inst,z} = w_{inst,st,z} + w_{inst,sn,z} + w_{inst,vitr,z} = 4,468 + 4,224 + 1,150 = 9,842 \text{ mm}$$

Podmínka spolehlivosti

$$w_{inst,y} = 1,647 \text{ mm} \leq \frac{l_y}{300} = \frac{5\,000}{300} = 16,67 \text{ mm} \quad \textbf{Vyhovuje}$$

$$w_{inst,z} = 9,842 \text{ mm} \leq \frac{l_z}{300} = \frac{5\,000}{300} = 16,67 \text{ mm} \quad \textbf{Vyhovuje}$$

Konečný průhyb

$$w_{net,fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q1} + w_{fin,Qi}$$

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} (1 + k_{def}) \quad \text{- pro stálé zatížení}$$

$$w_{fin,Q,1} = w_{inst,Q,1} (1 + \psi_{2,1} k_{def}) \quad \text{- pro hlavní proměnné zatížení } Q_1$$

$$w_{fin,Q} = w_{inst,Q,i} (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def}) \quad \text{- pro ostatní proměnná zatížení } Q_i (i > 1)$$

$k_{def} = 2,0 \dots$ pro LLD, třída provozu III ... součinitel dotvarování

od stálého zatížení

$$w_{fin,st,y} = w_{inst,st,y} \cdot (1 + k_{def}) = 0,963 \cdot (1 + 2,0) = 2,889 \text{ mm}$$

$$w_{fin,st,z} = w_{inst,st,z} \cdot (1 + k_{def}) = 4,468 \cdot (1 + 2,0) = 13,404 \text{ mm}$$

od zatížení sněhem

$$w_{fin,sn,y} = w_{inst,sn,y} \cdot (1 + \psi_{2,sn} \cdot k_{def}) = 0,343 \cdot (1 + 0 \cdot 2,0) = 0,343 \text{ mm}$$

$$w_{fin,sn,z} = w_{inst,sn,z} \cdot (1 + \psi_{2,sn} \cdot k_{def}) = 4,224 \cdot (1 + 0 \cdot 2,0) = 4,224 \text{ mm}$$

od zatížení větrem

$$w_{fin,vitr,y} = w_{inst,vitr,y} \cdot (\psi_{0,vitr} + \psi_{2,vitr} \cdot k_{def}) = 0,341 \cdot (0,6 + 0 \cdot 2,0) = 0,171 \text{ mm}$$

$$w_{fin,vitr,z} = w_{inst,vitr,z} \cdot (\psi_{0,vitr} + \psi_{2,vitr} \cdot k_{def}) = 1,150 \cdot (0,6 + 0 \cdot 2,0) = 0,575 \text{ mm}$$

Výsledný konečný průhyb

$$w_{net,fin,y} = w_{fin,st,y} + w_{fin,sn,y} + w_{fin,vitr,y} = 2,889 + 0,343 + 0,171 = 3,403 \text{ mm}$$

$$w_{net,fin,z} = w_{fin,st,z} + w_{fin,sn,z} + w_{fin,vitr,z} = 13,404 + 4,224 + 0,575 = 18,203 \text{ mm}$$

Podmínka spolehlivosti

$$w_{net,fin,y} = 3,403 \text{ mm} \leq \frac{l_y}{300} = \frac{5\,000}{250} = 20,00 \text{ mm} \quad \textbf{Vyhovuje}$$

$$w_{net,fin,z} = 18,203 \text{ mm} \leq \frac{l_z}{300} = \frac{5\,000}{250} = 20,00 \text{ mm} \quad \textbf{Vyhovuje}$$

7.9.2 KRAJNÍ VAZNICE

Předmětem posudku jsou krajní vaznice objektu obdélníkového průřezu o rozměrech 200 x 280 mm a délce 5 m. Krajní vaznice je vyrobená z lepeného lamelového dřeva GL 24h. Krajní vaznice mají poloviční roznášecí šířku než vaznice, protože jsou na krajích objektu. Roznášecí šířka je tedy 1 m. Krajní vaznice jsou kloubově uoženy na hlavní vazníky. Staticky krajní vaznice působí jako prostý nosník. Pod krajní vaznice jsou ukotveny ztužující táhla.

Schéma krajní vaznice

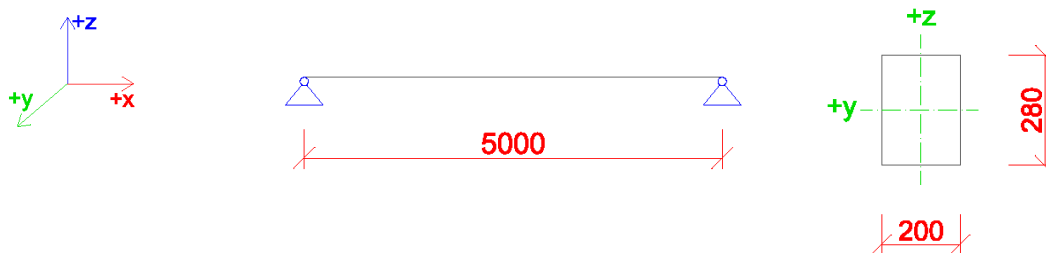
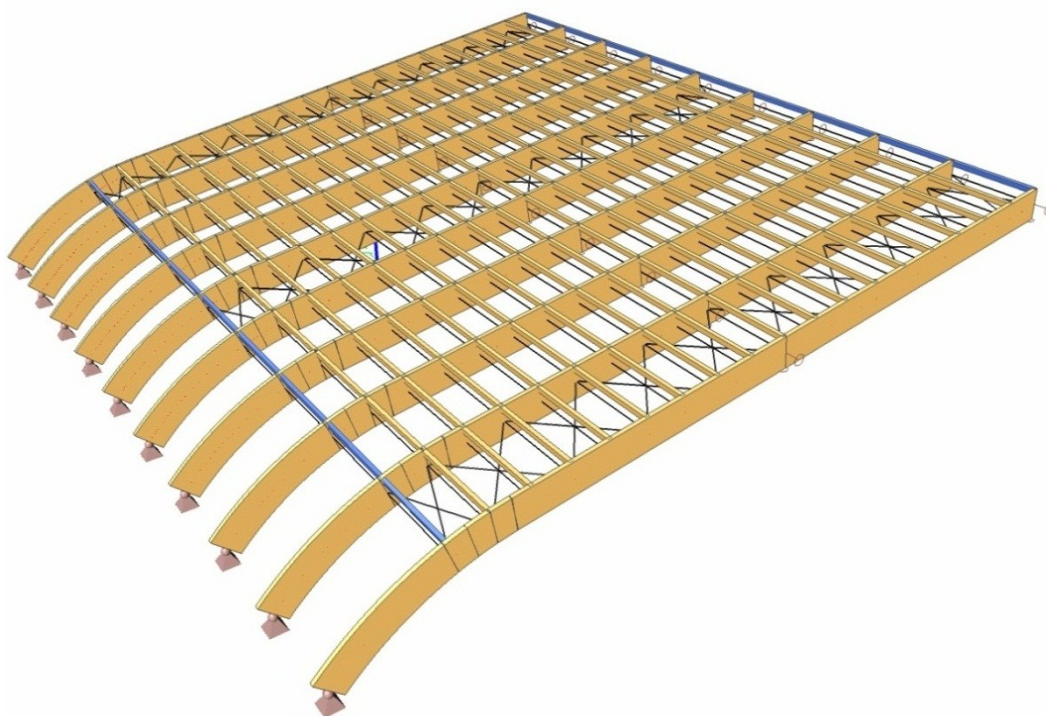


Schéma krajní vaznice v modelu z programu Scia Engineer



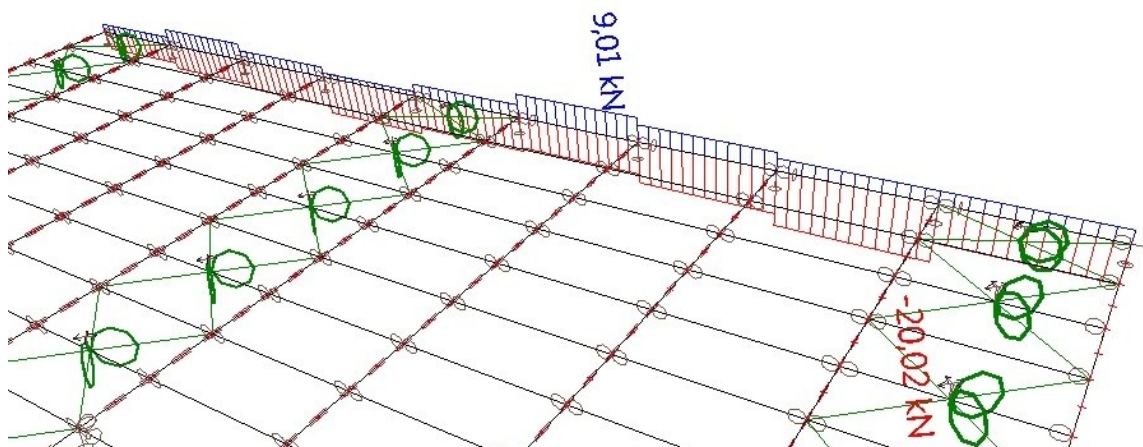
Vnitřní síly působící na krajní vaznice

Pro výpočet je uvažována nejnepříznivější maximální hodnota vnitřních sil. Hodnoty jsou z výpočetního programu Scia Engineer. Vykreslení jednotlivých vnitřních sil v krajních vaznicích je přiloženo v příloze č.3.

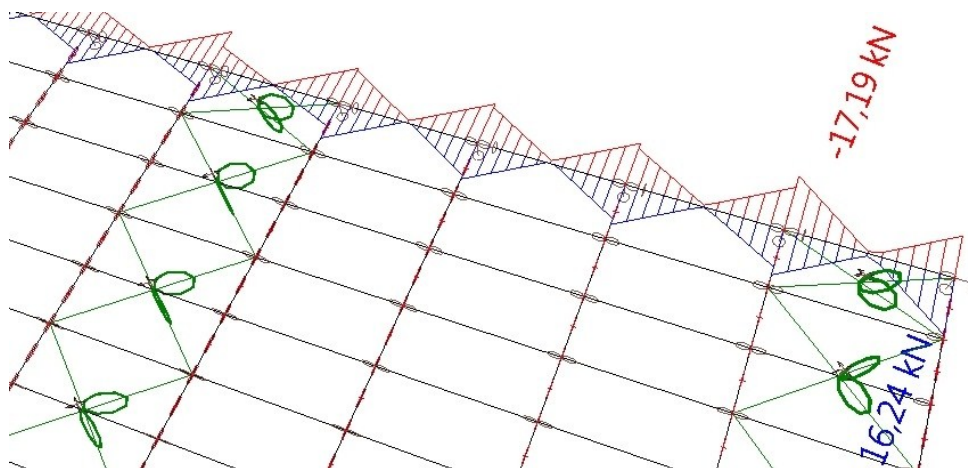
VNITŘNÍ SÍLY	HODNOTY	
$M_{y,d}$	+ 10,70 kNm	- 6,05 kNm
$M_{z,d}$	+ 13,90 kNm	- 14,65 kNm
$V_{y,d}$	+ 16,24 kN	- 17,19 kN
$V_{z,d}$	+ 8,62 kN	- 8,72 kN
N_d	+ 9,01 kN	- 20,02 kN

Vnitřní síly z výpočetního programu Scia Engineer

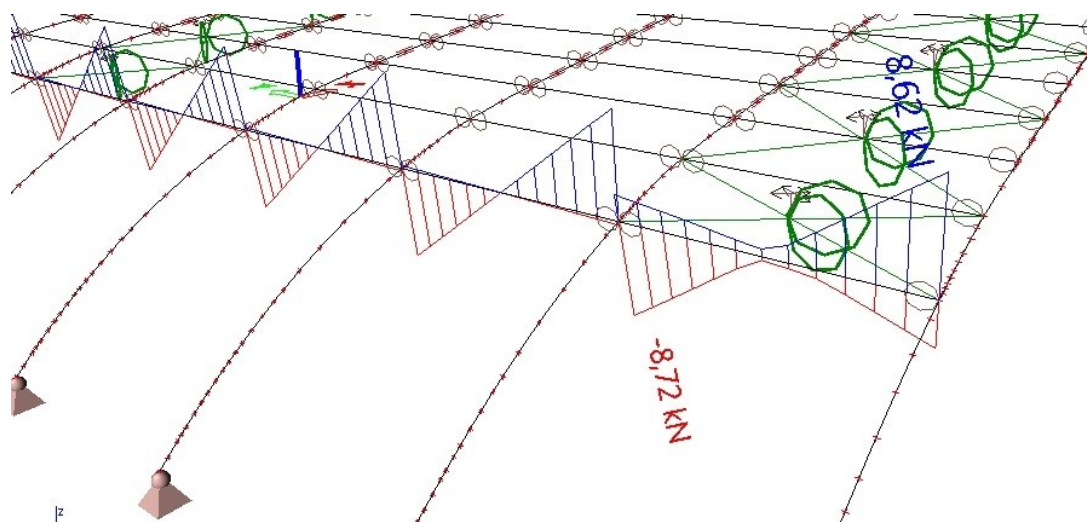
Normálová síla N_d



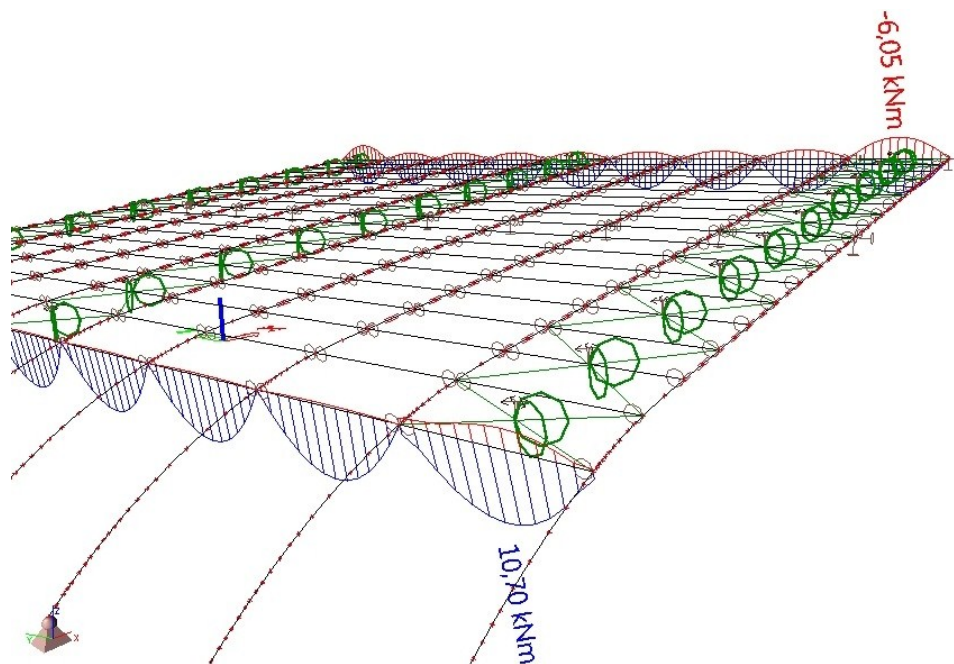
Posouvající síla $V_{y,d}$



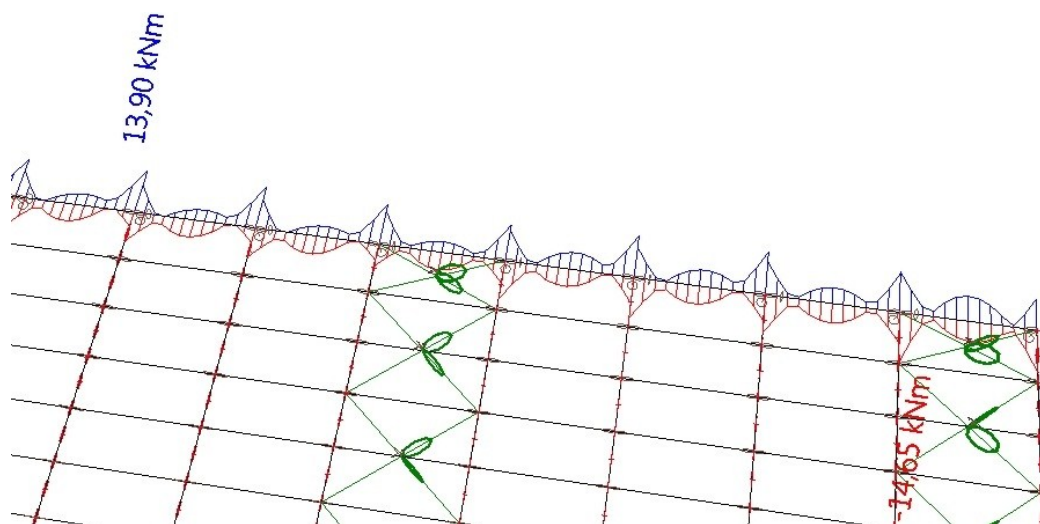
Posouvající síla $V_{z,d}$



Ohybový moment $M_{y,d}$



Ohybový moment $M_{z,d}$



NÁVRH KRAJNÍ VAZNICE: 200 x 280 mm , délka 5 m
z lepeného lamelového dřeva GL 24h
třída provozu III – krytý bazén - na straně bezpečné

Průřezové + materiálové charakteristiky

Třída pevnosti pro homogenní lepené lamelové dřevo GL 24h:

→ Pevnost v ohybu

$$f_{m,g,k} = 24 \text{ MPa}$$

→ Pevnost v tahu

○ Rovnoběžně s vlákny $f_{t,0,g,k} = 16,5 \text{ MPa}$

○ Kolmo k vláknům $f_{t,90,g,k} = 0,4 \text{ MPa}$

→ Pevnost v tlaku

○ Rovnoběžně s vlákny $f_{c,0,g,k} = 24 \text{ MPa}$

○ Kolmo k vláknům $f_{c,90,g,k} = 2,7 \text{ MPa}$

→ Pevnost ve smyku

$f_{v,g,k} = 2,7 \text{ MPa}$

→ Modul pružnosti E

○ Rovnoběžně s vlákny $E_{0,mean,g} = 11\,600 \text{ MPa}$

○ 5% kvantil, rovnoběžně s vlákny $E_{0,05,g} = 9\,400 \text{ MPa}$

○ Kolmo k vláknům $E_{90,mean,g} = 390 \text{ MPa}$

→ Hustota

$\rho_{g,k} = 380 \text{ kg/m}^3$

Délka prutu

$$l_{ef} = l = 5 \text{ m}$$

Plocha průřezu

$$A = b \cdot h = 200 \cdot 280 = 56\,000 \text{ mm}^2$$

Moment setrvačnosti

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 280^3 = 365,9 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 280 \cdot 200^3 = 187,7 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Průřezový modul

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 200 \cdot 280^2 = 2\,613,3 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 280 \cdot 200^2 = 1\,866,7 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

POSOUZENÍ KRAJNÍ VAZNICE

A) Mezní stav únosnosti – Posouzení na prostý tlak

- nosník je po celé délce zajištěn proti příčné a torzní nestabilitě.

Návrhová pevnost v tlaku

$$f_{c,0,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,g,k}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{24}{1,25} = 13,44 \text{ MPa}$$

$k_{\text{mod}} = 0,7$... modifikační součinitel pevnosti pro třídy provozu a třídy trvání zatížení
(rozhodující je krátkodobé zatížení) – třída provozu III

$\gamma_m = 1,25$... pro LLD ... dílčí součinitel vlastnosti materiálu

Návrhové normálové napětí v prostém tlaku

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{20,02 \cdot 10^3}{56,0 \cdot 10^3} = 0,36 \text{ MPa}$$

Posouzení napětí v tlaku

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,g,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,36 \cdot 10^6}{13,44 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,027 \leq 1$$

→ Vyhovuje

B) Mezní stav únosnosti – Posouzení na prostý ohyb

- nosník je po celé délce zajištěn proti příčné a torzní nestabilitě.

Návrhová pevnost v ohybu

$$f_{m,g,d} = f_{m,y,d} = f_{m,z,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{24}{1,25} = 13,44 \text{ MPa}$$

$k_{\text{mod}} = 0,7$... modifikační součinitel pevnosti pro třídy provozu a třídy trvání zatížení
(rozhodující je krátkodobé zatížení) – třída provozu III

$\gamma_m = 1,25$... pro LLD ... dílčí součinitel vlastnosti materiálu

Návrhové napětí za ohybu k hlavním osám

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{10,70}{2613,3 \cdot 10^3} = 4,09 \text{ MPa} \leq f_{m,y,d} = 13,44 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{14,65}{1866,7 \cdot 10^3} = 7,85 \text{ MPa} \leq f_{m,z,d} = 13,44 \text{ MPa}$$

Podmínka pro napětí v prostém ohybu

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{4,09}{13,44} + 0,7 \cdot \frac{7,85}{13,44} \leq 1$$

$k_m = 0,7$... součinitel pro obdélníkové průřezy

$$0,71 \leq 1$$

→ **Vyhovuje, využití průřezu 71 %**

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$0,7 \cdot \frac{4,09}{13,44} + \frac{7,85}{13,44} \leq 1 \quad k_m = 0,7 \dots \text{součinitel pro obdélníkové průřezy}$$

$$0,80 \leq 1$$

→ **Vyhovuje, využití průřezu 80 %**

C) Mezní stav únosnosti – Kombinace prostého ohybu a osového tlaku

Podmínka pro kombinaci napětí v osovém tlaku a ohybu

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{0,36}{13,44} \right)^2 + \frac{4,09}{13,44} + 0,7 \cdot \frac{7,85}{13,44} \leq 1$$

$$0,72 \leq 1$$

→ **Vyhovuje, využití průřezu 72 %**

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{0,36}{13,44} \right)^2 + 0,7 \cdot \frac{4,09}{13,44} + \frac{7,85}{13,44} \leq 1$$

$$0,81 \leq 1$$

→ **Vyhovuje, využití průřezu 81 %**

D) Mezní stav únosnosti – Kombinace ohybu s vlivem klopení a tlaku

– ověření návrhu na straně bezpečné

Poloměr setrvačnosti

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{365,9 \cdot 10^6}{56,0 \cdot 10^3}} = 80,83 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{186,7 \cdot 10^6}{56,0 \cdot 10^3}} = 57,74 \text{ mm}$$

Štíhlostní poměry

$$\lambda_y = \frac{l_{ef}}{i_y} = \frac{5000}{80,83} = 61,86$$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef}}{i_z} = \frac{5000}{57,74} = 86,60$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,o,g,k}}{E_{0,05,g}}} = \frac{61,86}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot 10^6}{9400 \cdot 10^6}} = 0,99$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,o,g,k}}{E_{0,05,g}}} = \frac{86,60}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot 10^6}{9400 \cdot 10^6}} = 1,39$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (0,99 - 0,3) + 0,99^2] = 1,03$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (1,39 - 0,3) + 1,39^2] = 1,52$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,03 + \sqrt{1,03^2 - 0,99^2}} = 0,77$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,52 + \sqrt{1,52^2 - 1,39^2}} = 0,47$$

Posouzení napětí ve vzpěrném tlaku

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,o,g,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,36 \cdot 10^6}{0,77 \cdot 13,44 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,035 \leq 1$$

→ **Vyhovuje**

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,o,g,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,36 \cdot 10^6}{0,47 \cdot 13,44 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,060 \leq 1$$

→ **Vyhovuje**

Podmínka pro kombinaci napětí vzpěrného tlaku a ohybu

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,o,g,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,36 \cdot 10^6}{0,77 \cdot 13,44 \cdot 10^6} + \frac{4,09 \cdot 10^6}{13,44 \cdot 10^6} + 0,7 \cdot \frac{7,85 \cdot 10^6}{13,44 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,75 \leq 1$$

→ **Vyhovuje**

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,o,g,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,36 \cdot 10^6}{0,47 \cdot 13,44 \cdot 10^6} + 0,7 \cdot \frac{4,09 \cdot 10^6}{13,44 \cdot 10^6} + \frac{7,85 \cdot 10^6}{13,44 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,85 \leq 1$$

→ Vyhovuje

E) Mezní stav únosnosti – Posouzení na smyk

Návrhová pevnost ve smyku

$$f_{v,g,d} = f_{v,y,d} = f_{v,z,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{2,7}{1,25} = 1,51 \text{ MPa}$$

$k_{mod} = 0,7$... modifikační součinitel pevnosti pro třídy provozu a třídy trvání zatížení
(rozhodující je krátkodobé zatížení sněhové)

$\gamma_m = 1,25$... pro LLD ... dílčí součinitel vlastnosti material

Šířka příslušné části prvku

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 200 = 134 \text{ mm} = 0,134 \text{ m}$$

$k_{cr} = 0,67$... pro LLD ... součinitel trhlin pro únosnost ve smyku

Návrhové napětí ve smyku k hlavním osám

$$\tau_{v,d,y} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{s,d,y}}{b_{ef} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{17,19}{0,134 \cdot 0,280} = 0,69 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d,z} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{s,d,z}}{b_{ef} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{8,72}{0,134 \cdot 0,280} = 0,35 \text{ MPa}$$

Dvojosá napjatost ve smyku

$$\frac{\sqrt{\tau_{v,y}^2 + \tau_{v,z}^2}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sqrt{0,69^2 + 0,35^2}}{1,51} \leq 1$$

$$0,51 \leq 1$$

→ Vyhovuje

F) Mezní stav použitelnosti

Hodnoty okamžitého průhybu w_{inst} krajní vaznice jsou získány z výpočetního programu Scia Engineer. Okamžitý průhyb je rozdělený na průhyb od stálého zatížení, zatížení sněhem a zatížení větrem. Konečná deformace je pak spočítána pro kvazistálou kombinaci zatížení. Vykreslení okamžitých průhybů střešních vaznic je přiloženo v příloze č. 3.

Hodnoty okamžitého průhybu – z výpočetního programu Scia Engineer

OKAMŽITÝ PRŮHYB	OZNAČENÍ	HODNOTA [MM]	
		SMĚR Y	SMĚR Z
OD STÁLÉHO ZATÍŽENÍ	$W_{INST,ST}$	0,956	2,295
OD ZATÍŽENÍ SNĚHEM	$W_{INST,SN}$	0,509	1,903
OD ZATÍŽENÍ VĚTREM	$W_{INST,VITR}$	4,300	1,070

Délka průhybu $l_y = l_z = 5 \text{ m} = 5\,000 \text{ mm}$

Výsledný okamžitý průhyb

$$w_{inst,y} = w_{inst,st,y} + w_{inst,sn,y} + w_{inst,vitr,y} = 0,956 + 0,509 + 4,300 = 5,765 \text{ mm}$$

$$w_{inst,z} = w_{inst,st,z} + w_{inst,sn,z} + w_{inst,vitr,z} = 2,295 + 1,903 + 1,070 = 5,268 \text{ mm}$$

Podmínka spolehlivosti

$$w_{inst,y} = 5,765 \text{ mm} \leq \frac{l_y}{300} = \frac{5\,000}{300} = 16,67 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$w_{inst,z} = 5,268 \text{ mm} \leq \frac{l_z}{300} = \frac{5\,000}{300} = 16,67 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Konečný průhyb

$$w_{net,fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q1} + w_{fin,Qi}$$

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} (1 + k_{def}) \quad - \text{pro stálé zatížení}$$

$$w_{fin,Q1} = w_{inst,Q1} (1 + \psi_{2,1} k_{def}) \quad - \text{pro hlavní proměnné zatížení } Q_1$$

$$w_{fin,Q} = w_{inst,Q,i} (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def}) \quad - \text{pro ostatní proměnná zatížení } Q_i (i > 1)$$

$k_{def} = 2,0 \dots$ pro LLD, třída provozu III ... součinitel dotvarování

od stálého zatížení

$$w_{fin,st,y} = w_{inst,st,y} \cdot (1 + k_{def}) = 0,956 \cdot (1 + 2,0) = 2,868 \text{ mm}$$

$$w_{fin,st,z} = w_{inst,st,z} \cdot (1 + k_{def}) = 2,295 \cdot (1 + 2,0) = 6,885 \text{ mm}$$

od zatížení sněhem

$$w_{fin,sn,y} = w_{inst,sn,y} \cdot (1 + \psi_{2,sn} \cdot k_{def}) = 0,509 \cdot (1 + 0 \cdot 2,0) = 0,509 \text{ mm}$$

$$w_{fin,sn,z} = w_{inst,sn,z} \cdot (1 + \psi_{2,sn} \cdot k_{def}) = 1,903 \cdot (1 + 0 \cdot 2,0) = 1,903 \text{ mm}$$

od zatížení větrem

$$w_{fin,vitr,y} = w_{inst,vitr,y} \cdot (\psi_{0,vitr} + \psi_{2,vitr} \cdot k_{def}) = 4,300 \cdot (0,6 + 0 \cdot 2,0) = 2,150 \text{ mm}$$

$$w_{fin,vitr,z} = w_{inst,vitr,z} \cdot (\psi_{0,vitr} + \psi_{2,vitr} \cdot k_{def}) = 1,070 \cdot (0,6 + 0 \cdot 2,0) = 0,535 \text{ mm}$$

Výsledný konečný průhyb

$$w_{net,fin,y} = w_{fin,st,y} + w_{fin,sn,y} + w_{fin,vitr,y} = 2,686 + 0,509 + 2,150 = 5,527 \text{ mm}$$

$$w_{net,fin,z} = w_{fin,st,z} + w_{fin,sn,z} + w_{fin,vitr,z} = 6,885 + 1,903 + 0,535 = 9,323 \text{ mm}$$

Podmínka spolehlivosti

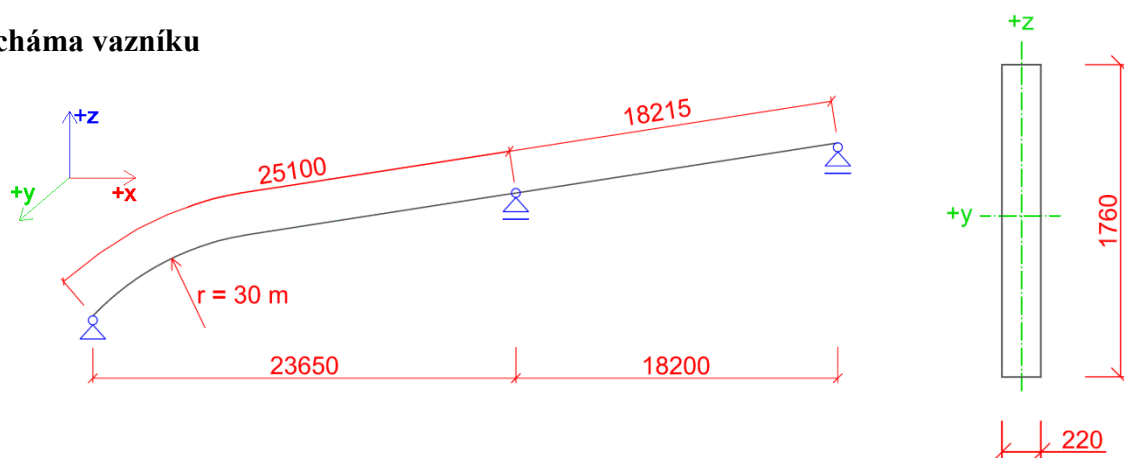
$$w_{net,fin,y} = 5,527 \text{ mm} \leq \frac{l_y}{300} = \frac{5\,000}{250} = 20,00 \text{ mm} \quad \textbf{Vyhovuje}$$

$$w_{net,fin,z} = 9,323 \text{ mm} \leq \frac{l_z}{300} = \frac{5\,000}{250} = 20,00 \text{ mm} \quad \textbf{Vyhovuje}$$

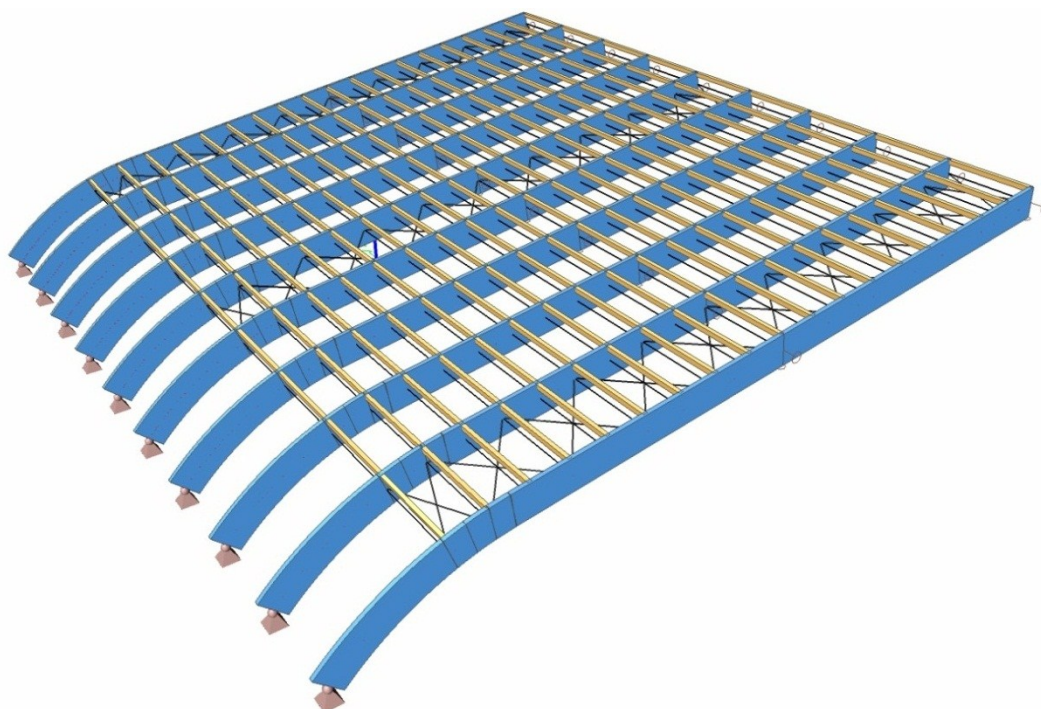
7.9.3 HLAVNÍ VAZNÍK

Předmětem posudku jsou hlavní vazníky obdélníkového průřezu 220 x 1760 mm. Vazníky jsou vyrobeny z lepeného lamelového dřeva GL 24h. Vazníky jsou uloženy v osových vzdálenostech po 5 m. Staticky vazníky působí jako dva prosté nosníky kloubově spojené nad prostřední nosnou stěnou haly. Rozpětí vazníků je 18,200 m nad provozní částí a 23,650 m nad bazénovou halou. Nad provozní částí jsou vazníky přímé a kloubově uloženy na posuvnou podporu. Nad samostatnou halou jsou vazníky obloukového tvaru z jedné strany kloubově uloženy na posuvnou podporu. Druhý konec vazníků je kloubově uložený pomocí čepového spoje na pevnou podporu na železobetonovou základovou patku. Vzájemně jsou vazníky kloubově spojeny nad prostřední železobetonovou stěnou, na kterou jsou uloženy. Stabilitu nosníků zajišťují rozpěry v osových vzdálenostech po 4 m.

Scháma vazníku



Scháma vazníku v modelu z programu Scia Engineer



Vnitřní síly působící na vazník

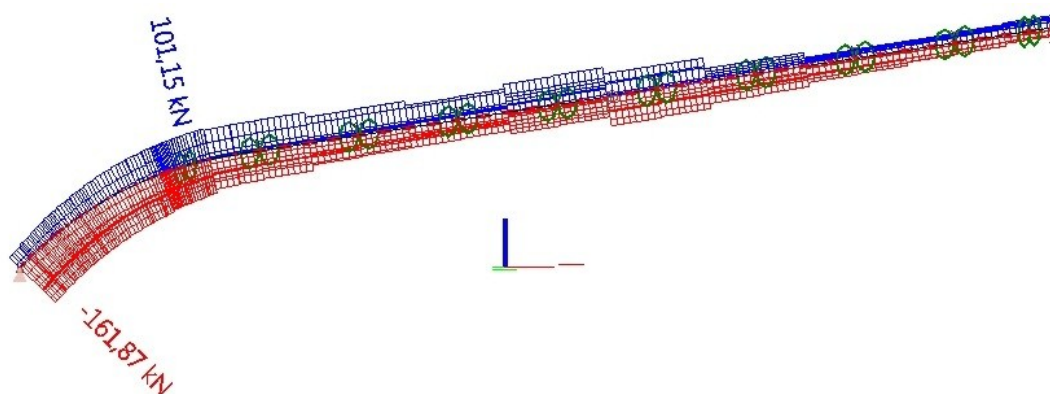
Pro výpočet je uvažována nejnepříznivější maximální hodnota vnitřních sil. Hodnoty jsou z výpočetního programu Scia Engineer. Vykreslení jednotlivých vnitřních sil ve vazníku je také přiloženo v příloze č.4.

VNITŘNÍ SÍLY	HODNOTY	
$M_{y,d}$	+ 1137,66 kNm	- 70,23 kNm
$M_{z,d}$	+ 15,63 kNm	- 13,39 kNm
$V_{y,d}$	+ 11,86 kN	- 9,92 kN

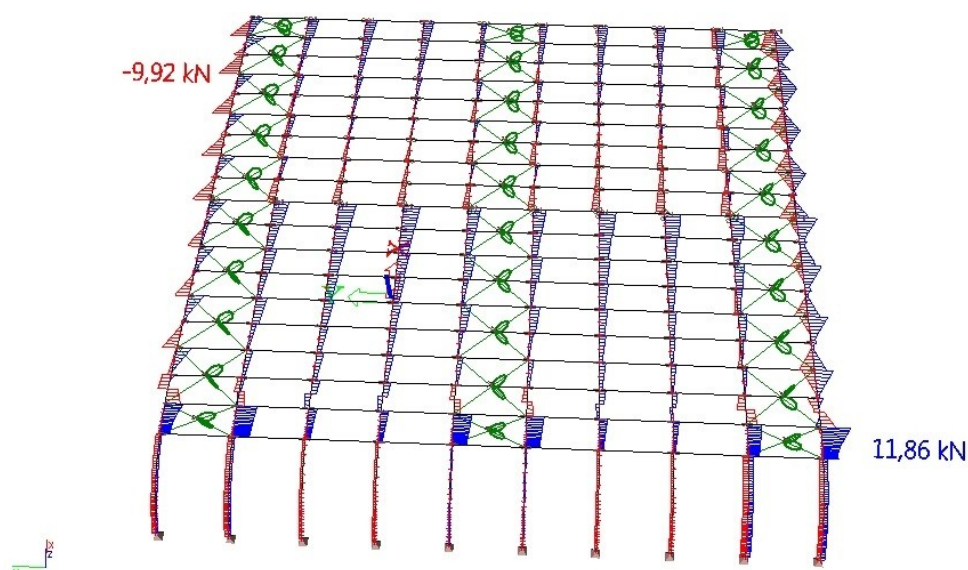
$V_{z,d}$	+ 178,58 kN	- 138,31 kN
N_d	+ 101,15 kN	- 161,87 kN

Vnitřní síly z výpočetního programu Scia Engineer

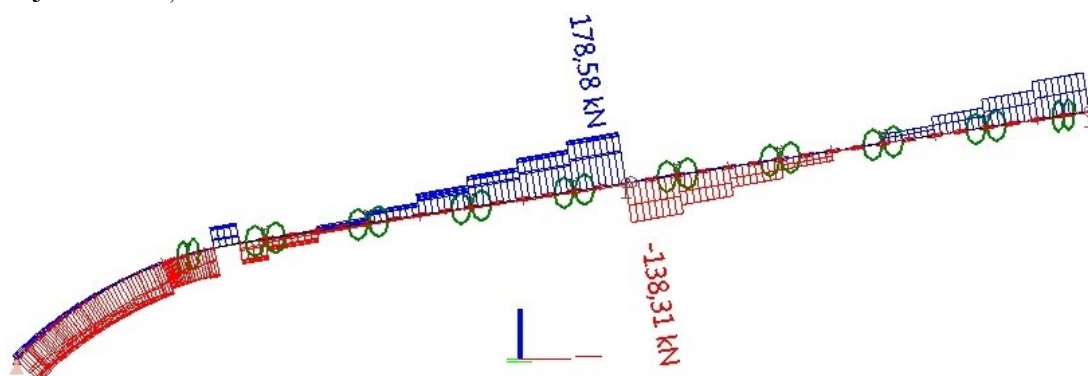
Normálová síla N_d



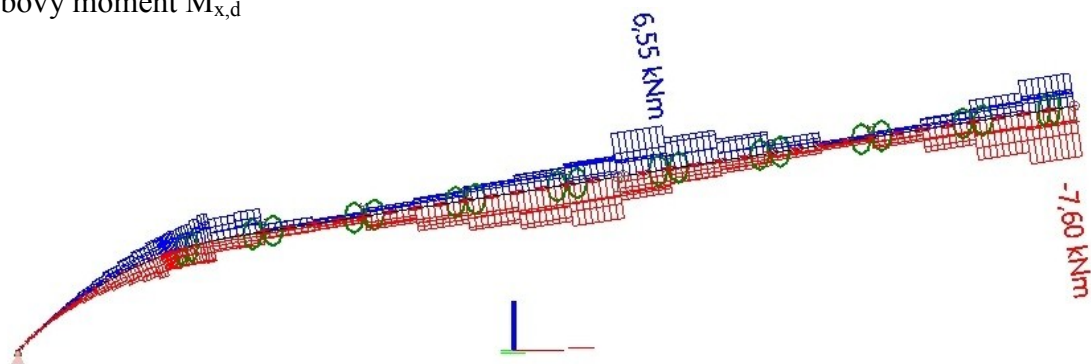
Posouvající síla $V_{y,d}$



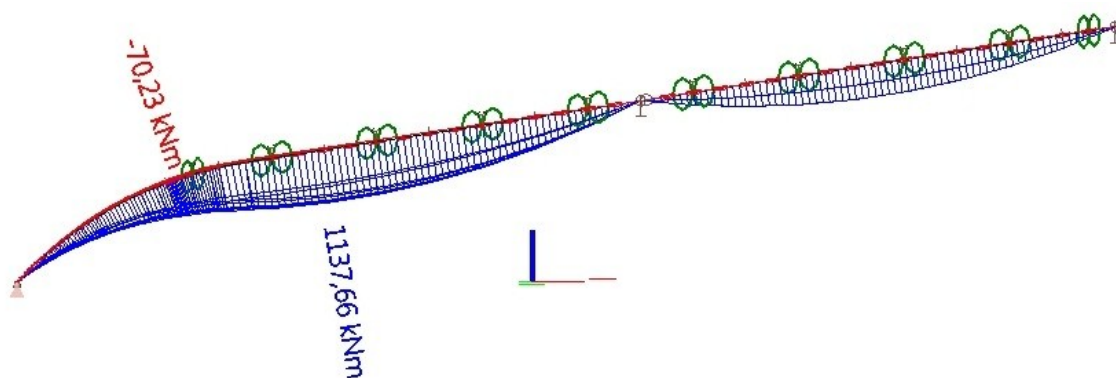
Posouvající síla $V_{z,d}$



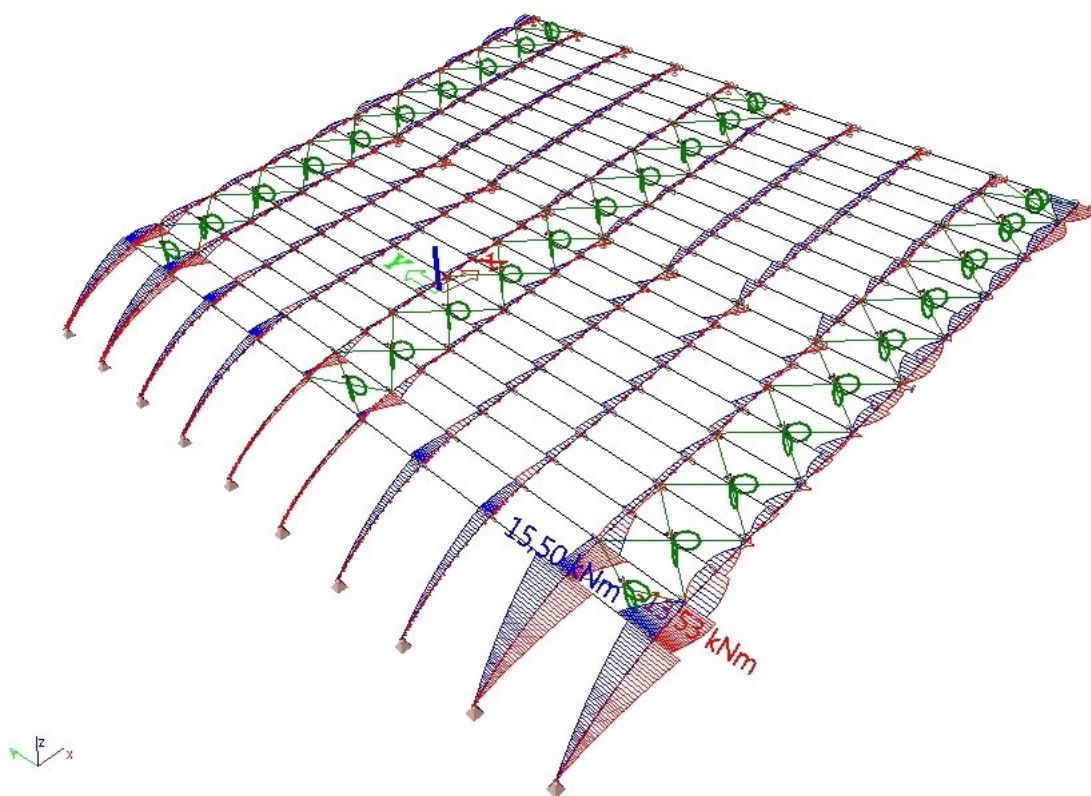
Ohybový moment $M_{x,d}$



Ohybový moment $M_{y,d}$



Ohybový moment $M_{z,d}$



NÁVRH VAZNÍKU: průřez 220 x 1 760 mm
délka nad bazénovou halou 25,100 m
délka nad provozní částí 18,215 m
z lepeného lamelového dřeva GL 24h
tloušťka lamel $t = 40$ mm
poloměr oblouku ke střednici $r = 17,0$ m
třída provozu III – krytý bazén - na straně bezpečné

Průřezové + materiálové charakteristiky

Třída pevnosti pro homogenní lepené lamelové dřevo GL 24h:

- Pevnost v ohybu $f_{m,g,k} = 24$ MPa
- Pevnost v tahu
 - Rovnoběžně s vlákny $f_{t,0,g,k} = 16,5$ MPa
 - Kolmo k vláknům $f_{t,90,g,k} = 0,4$ MPa
- Pevnost v tlaku
 - Rovnoběžně s vlákny $f_{c,0,g,k} = 24$ MPa
 - Kolmo k vláknům $f_{c,90,g,k} = 2,7$ MPa
- Pevnost ve smyku $f_{v,g,k} = 2,7$ MPa
- Modul pružnosti E
 - Rovnoběžně s vlákny $E_{0,mean,g} = 11\,600$ MPa
 - 5% kvantil, rovnoběžně s vlákny $E_{0,05,g} = 9\,400$ MPa
 - Kolmo k vláknům $E_{90,mean,g} = 390$ MPa
- Hustota $\rho_{g,k} = 380$ kg/m³

Plocha průřezu

$$A = b \cdot h = 220 \cdot 1760 = 387,20 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

Moment setrvačnosti

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 220 \cdot 1760^3 = 99949,2 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 1760 \cdot 220^3 = 1561,7 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Průřezový modul

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 220 \cdot 1760^2 = 113578,7 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 1760 \cdot 220^2 = 14197,3 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Návrhové materiálové pevnosti

$k_{\text{mod}} = 0,7$... modifikační součinitel pevnosti pro třídy provozu a třídy trvání zatížení
(rozhodující je krátkodobé zatížení sněhové) – třída provozu III

$\gamma_m = 1,25$... pro LLD ... dílčí součinitel vlastnosti materiálu

→ Návrhová pevnost v ohybu

$$f_{m,g,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{24}{1,25} = 13,44 \text{ MPa}$$

→ Návrhová pevnost v tahu – rovnoběžně s vlákny

$$f_{t,0,g,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{t,0,g,k}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{16,5}{1,25} = 9,24 \text{ MPa}$$

→ Návrhová pevnost v tahu – kolmo na vlákna

$$f_{t,90,g,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{t,90,g,k}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{0,4}{1,25} = 0,22 \text{ MPa}$$

→ Návrhová pevnost v tlaku – rovnoběžně s vlákny

$$f_{c,0,g,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,0,g,k}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{24}{1,25} = 13,44 \text{ MPa}$$

→ Návrhová pevnost v tlaku – kolmo na vlákna

$$f_{c,90,g,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,90,g,k}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{2,7}{1,25} = 1,51 \text{ MPa}$$

→ Návrhová pevnost ve smyku

$$f_{v,g,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{2,7}{1,25} = 1,51 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ VAZNÍKU

A) Mezní stav únosnosti – Posouzení na prostý ohyb v přímé části vazníku

- za předpokladu, že je nosník po celé délce zajištěn proti příčné a torzní nestabilitě pomocí záklopu

Návrhové napětí za ohybu k hlavním osám

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{1137,66}{113578,7 \cdot 10^3} = 10,02 \text{ MPa} \leq f_{m,y,d} = 13,44 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{15,63}{14197,3 \cdot 10^3} = 1,10 \text{ MPa} \leq f_{m,z,d} = 13,44 \text{ MPa}$$

→ **Vyhovuje**

Podmínka pro mezní stav únosnosti

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{10,02}{13,44} + 0,7 \cdot \frac{1,10}{13,44} \leq 1 \quad k_m = 0,7 \dots \text{součinitel pro obdélníkové průřezy}$$

$$0,80 \leq 1$$

→ **Vyhovuje, využití průřezu 80 %**

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$0,7 \cdot \frac{10,02}{13,44} + \frac{1,10}{13,44} \leq 1 \quad k_m = 0,7 \dots \text{součinitel pro obdélníkové průřezy}$$

$$0,60 \leq 1$$

→ **Vyhovuje, využití průřezu 60 %**

B) Mezní stav únosnosti – Posouzení na prostý tlak

- za předpokladu, že je nosník po celé délce zajištěn proti příčné a torzní nestabilitě pomocí záklopu

Návrhové normálové napětí v prostém tlaku

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{161,87 \cdot 10^3}{387,20 \cdot 10^3} = 0,42 \text{ MPa} \leq f_{c,0,d} = 13,44 \text{ MPa}$$

→ **Vyhovuje**

C) Mezní stav únosnosti – Kombinace prostého ohybu a osového tlaku

Podmínka pro kombinaci napětí v osovém tlaku a ohybu

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{0,42}{13,44} \right)^2 + \frac{10,02}{13,44} + 0,7 \cdot \frac{1,10}{13,44} \leq 1$$

$$0,80 \leq 1$$

→ Vyhovuje, využití průřezu 80 %

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{0,42}{13,44}\right)^2 + 0,7 \cdot \frac{10,02}{13,44} + \frac{1,10}{13,44} \leq 1$$

$$0,60 \leq 1$$

→ Vyhovuje, využití průřezu 60 %

D) Mezní stav únosnosti – Posouzení na prostý ohyb v zakřivené části nosníku

- posouzení na napětí v ohybu v místě zakřivení vazníku s největším ohybovým momentem.

Vstupující vnitřní síly

VNITŘNÍ SÍLA	HODNOTA
$M_{y,d}$	+ 870,89 kNm
$V_{z,d}$, přísl.	- 94,55 kN

Tab. 8: Příslušné vnitřní síly z výpočetního programu Scia Engineer

Prvek	Stav	dx [mm]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B673	CO1 - msu151	918,800	-123,71	4,59	-72,47	0,75	405,77	2,14
B752	CO1 - msu132	0,000	96,29	4,33	-53,82	0,68	701,82	-0,95
B752	CO1 - msu69/18	1056,390	33,43	-0,95	-24,05	-0,83	240,42	7,86
B41	CO1 - msu51/4	0,000	11,50	7,87	-23,36	-0,86	233,07	9,32
B436	CO1 - msu132	1056,390	-9,81	3,30	-96,16	0,97	770,15	2,99
B41	CO1 - msu59/5	213,241	-17,66	6,10	2,19	0,25	-51,51	4,97
B278	CO1 - msu51/4	0,000	-17,73	2,29	-61,12	-2,69	505,82	5,49
B41	CO1 - msu38/9	0,000	14,86	2,64	-27,35	3,17	310,56	-10,00
B357	CO1 - msu57/7	1056,390	-60,97	2,41	-3,42	0,73	-70,23	2,20
B436	CO1 - msu132	0,000	-4,67	4,16	-94,55	0,92	870,89	-0,91
B41	CO1 - msu44/6	0,000	-13,86	2,98	-17,38	3,15	152,79	-10,71
B41	CO1 - msu51/4	1056,390	9,69	3,79	-25,81	-0,26	207,08	15,50

Napětí v ohybu zakřivené části

$$\sigma_{m,d} = k_l \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 1,02 \cdot \frac{6 \cdot 870,89}{0,220 \cdot 1,760^2} = 7,82 \text{ MPa}$$

$h_{ap} = 1,760 \text{ m}$... výška nosníku zakřivené části

Součinitel k_l

$\alpha_{ap} = 0^\circ$... úhel sklonu náběhu ve středu zakřivené oblasti

$r = 30 \text{ m}$... poloměr oblouku ke střednici

$$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} + 5,4 \cdot (\operatorname{tg} \alpha_{ap})^2 = 1$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} = 0,35$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} - 7,8 \cdot (\operatorname{tg} \alpha_{ap})^2 = 0,6$$

$$k_l = k_1 + k_2 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_3 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^3 = 1 + 0,35 \cdot \left(\frac{1,760}{30}\right) + 0,6 \cdot \left(\frac{1,760}{30}\right)^2 + 0$$

$$k_l = 1,02$$

Součinitel k_r

$t = 30 \text{ mm}$... tloušťka lamel

$r_{in} = r - 0,5 \cdot h_{ap} = 30 - 0,5 \cdot 1,760 = 29,12 \text{ m}$... vnitřní poloměr oblouku

$$\frac{r_{in}}{t} = \frac{29,12}{0,030} = 970,67 \geq 240 \text{ mm} \rightarrow k_r = 1,0$$

Podmínka pro napětí v ohybu

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_r \cdot f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\frac{7,82}{1,0 \cdot 13,44} \leq 1 \quad k_m = 0,7 \text{ ... součinitel pro obdélníkové průřezy}$$

$$0,58 \leq 1$$

→ Vyhovuje, využití průřezu 58 %

E) Mezní stav únosnosti – Posouzení na tah kolmo na vlákna v místě zakřivení

- posouzení na tah kolmo na vlákna v místě zakřivení vazníku s největším ohybovým momentem.

Součinitel k_p

$\alpha_{ap} = 0^\circ$... úhel sklonu náběhu ve středu zakřivené oblasti

$h_{ap} = 1,760 \text{ mm}$... výška nosníku v zakřivené části

$r = 30 \text{ m}$... poloměr oblouku ke střednici

$r_{in} = r - 0,5 \cdot h_{ap} = 30 - 0,5 \cdot 1,760 = 29,12 \text{ m}$... vnitřní poloměr oblouku

$$k_5 = 0,2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} = 0$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} + 2,6 \cdot (\operatorname{tg} \alpha_{ap})^2 = 0,25$$

$$k_7 = 2,1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} - 4,0 \cdot (\operatorname{tg} \alpha_{ap})^2 = 0$$

$$k_p = k_5 + k_6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 = 0 + 0,25 \cdot \left(\frac{1,760}{30}\right) + 0$$

$$k_p = 0,0146$$

Součinitel k_{dis}

$$k_{dis} = 1,4 \quad \dots \text{ pro zakřivené nosníky}$$

Součinitel k_{vol}

$$V_0 = 0,01 \text{ m}^3 \quad \dots \text{ referenční objem}$$

$$l = 4,100 \text{ m} \quad \dots \text{ délka namáhané zakřivené části}$$

$$V = b \cdot h \cdot l = 0,220 \cdot 1,760 \cdot 4,100 = 1,588 \text{ m}^3 \quad \dots \text{ namáhaný objem zakřivené části}$$

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{1,588}\right)^{0,2} = 0,363$$

Posouzení napětí v tahu kolmo k vláknům

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 0,0146 \cdot \frac{6 \cdot 870,89}{0,220 \cdot 1,760^2} = 0,109 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,109 \text{ MPa} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} = 1,4 \cdot 0,363 \cdot 0,224 = 0,114 \text{ MPa}$$

→ **Vyhovuje**

Posouzení napětí v tahu kolmo k vláknům v kombinaci se smykem

$$\tau_{v,d} = \frac{2}{3} \cdot \frac{V_{z,d,přísl.}}{A} = \frac{2}{3} \cdot \frac{94,55}{0,220 \cdot 1,760} = 0,37 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}} + \frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,109}{1,4 \cdot 0,363 \cdot 0,224} + \frac{0,37}{1,51} \leq 1$$

$$1,20 \leq 1$$

→ **Nevyhoví**

→ **Návrhy opatření:**

- nutno konstrukčně vyztužit vložení ocelových tyčí (nedoporučuje se ve vlhkém prostředí bazénové haly),
- zvýšení třídy průřezu dřeva,
- zvýšení výšky hlavního vazníku,

- snížení třídy provozu na třídu II, se současným zajištěním podmínek pro vlhkost ve třídě provozu II.

F) Mezní stav únosnosti – Kombinace ohybu s vlivem klopení a tlaku

- ověření návrhu na straně bezpečné bez zajištění příčné a torzní stability od záklopu

Poloměr setrvačnosti

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{99949,2 \cdot 10^6}{387,20 \cdot 10^3}} = 508,07 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{1561,7 \cdot 10^6}{387,20 \cdot 10^3}} = 63,51 \text{ mm}$$

Štíhlostní poměry

$$\lambda_y = \frac{l_{ef}}{i_y} = \frac{25100}{508,07} = 49,40$$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef}}{i_z} = \frac{4000}{63,51} = 62,98$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,o,g,k}}{E_{0,05,g}}} = \frac{49,40}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot 10^6}{9400 \cdot 10^6}} = 0,79$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,o,g,k}}{E_{0,05,g}}} = \frac{62,98}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot 10^6}{9400 \cdot 10^6}} = 1,01$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (0,79 - 0,3) + 0,79^2] = 0,84$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (1,01 - 0,3) + 1,01^2] = 1,05$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,84 + \sqrt{0,84^2 - 0,79^2}} = 0,90$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,05 + \sqrt{1,05^2 - 1,01^2}} = 0,76$$

Posouzení napětí ve vzpěrném tlaku

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,o,g,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,42 \cdot 10^6}{0,90 \cdot 13,44 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,035 \leq 1$$

→ **Vyhovuje**

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,o,g,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,42 \cdot 10^6}{0,76 \cdot 13,44 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,041 \leq 1$$

→ **Vyhovuje**

Kritické napětí v ohybu

$$l_{ef} = 1 \cdot 0,9 = 4,0 \cdot 0,9 = 3,6 \text{ m}$$

$l = 4,0 \text{ m}$... délka zabraňující klopení z roviny nosníku

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,220^2}{1,760 \cdot 3,6} \cdot 9\,400 \cdot 10^{-6} = 56,01 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,g,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24,0}{56,01}} = 0,655$$

Součinitel v důsledku příčné a torzní nestability

$$k_{crit} = \left[\begin{array}{ll} 1 & \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} & \text{pro } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{pro } 1,4 \leq \lambda_{rel,m} \end{array} \right]$$

$$k_{crit} = 1$$

Posouzení napětí v ohybu s vlivem klopení – z roviny nosníku

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_r \cdot k_{crit} \cdot f_{m,g,d}} \leq 1$$

$$\frac{10,02}{1,0 \cdot 13,44} \leq 1$$

$$0,75 \leq 1$$

→ **Vyhovuje**

Podmínka pro kombinaci napětí v ohybu s vlivem klopení a vzpěrného tlaku – z roviny nosníku

$$\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_r \cdot k_{crit} \cdot f_{m,g,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,o,g,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{10,02}{1,0 \cdot 1,0 \cdot 13,44} \right)^2 + \frac{0,42}{0,76 \cdot 13,44} \leq 1$$

$$0,60 \leq 1$$

→ Vyhovuje

G) Mezní stav únosnosti – Posouzení na smyk

Šířka příslušné části prvku

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 220 = 147,4 \text{ mm} = 0,147 \text{ m}$$

$k_{cr} = 0,67$... pro LLD ... součinitel trhlin pro únosnost ve smyku

Návrhové napětí ve smyku k hlavním osám

$$\tau_{v,d,y} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{s,d,y}}{b_{ef} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{11,86}{0,147 \cdot 1,760} = 0,069 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d,z} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{s,d,z}}{b_{ef} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{178,58}{0,147 \cdot 1,760} = 1,035 \text{ MPa}$$

Dvojosá napjatost ve smyku

$$\frac{\sqrt{\tau_{v,y}^2 + \tau_{v,z}^2}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sqrt{0,069^2 + 1,035^2}}{1,51} \leq 1$$

$$0,69 \leq 1$$

→ Vyhovuje

H) Mezní stav únosnosti – Posouzení na tlak kolmo na vlákna od rozpěr

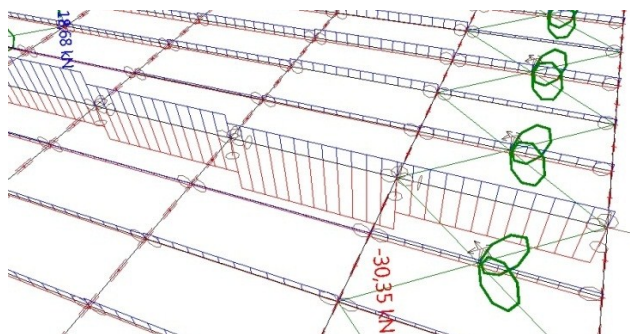
- posouzení na tlak od vzpěr kolmo na vlákna hlavního nosníku. Rozměr rozpěr je 180 x 280 mm. Největší tlaková síla od rozpěr je převzatá z programu Scia Engineer.

Vstupující vnitřní síla

VNITŘNÍ SÍLA	HODNOTA
N_d tlak	- 30,35 kN

Vnitřní síla z výpočetního programu Scia Engineer

Normálová tlaková síla N_d tlak



Účinná dotyková plocha v tlaku kolmo k vláknům

$$A_{ef} = (l + 2 \cdot 30 \text{ mm}) \cdot h = (180 + 2 \cdot 30) \cdot 280 = 67200 \text{ mm}^2 = 67200 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$l = b = 180 \text{ mm}$... šířka vzpěry

$h = 280 \text{ mm}$... výška vzpěry

Součinitel zohledňující uspořádání zatížení, možnost rozštěpení dřeva a deformaci v tlaku

$$k_{c,90} = 1,0$$

Návrhové napětí v tlaku kolmo k vláknům v účinné dotykové ploše

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{N_d}{A_{ef}} = \frac{30,35 \cdot 10^3}{67200 \cdot 10^{-6}} = 451,64 \text{ kPa} = 0,452 \text{ MPa}$$

Posouzení napětí v tlaku kolmo na vlákna

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,g,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,452 \cdot 10^6}{1,0 \cdot 1,51 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,30 \leq 1$$

→ Vyhovuje

I) Mezní stav použitelnosti

Hodnoty okamžitého průhybu w_{inst} vazníku nad zazemím bazénu jsou získány z výpočetního programu Scia Engineer. Okamžitý průhyb je rozdělený na průhyb od stálého

zatížení, zatížení sněhem a zatížení větrem. Konečná deformace je pak spočítána pro kvazistálou kombinaci zatížení. Vykreslení okamžitých průhybů střešních vaznic je přiloženo v příloze č. 4.

Hodnoty okamžitého průhybu – z výpočetního programu Scia Engineer

OKAMŽITÝ PRŮHYB	OZNAČENÍ	HODNOTA [MM]	
		SMĚR Y	SMĚR Z
OD STÁLÉHO ZATÍŽENÍ	$W_{INST,ST}$	13,422	25,882
OD ZATÍŽENÍ SNĚHEM	$W_{INST,SN}$	0,401	17,128
OD ZATÍŽENÍ VĚTREM	$W_{INST,VITR}$	10,979	6,493

Délka průhybu $l_y = l_z = 25,100 \text{ m} = 25\,100 \text{ mm}$

Výsledný okamžitý průhyb

$$W_{inst,y} = W_{inst,st,y} + W_{inst,sn,y} + W_{inst,vitr,y} = 13,422 + 0,401 + 10,979 = 24,802 \text{ mm}$$

$$W_{inst,z} = W_{inst,st,z} + W_{inst,sn,z} + W_{inst,vitr,z} = 25,882 + 17,128 + 6,493 = 49,503 \text{ mm}$$

Podmínka spolehlivosti

$$W_{inst,y} = 24,802 \text{ mm} \leq \frac{l_y}{300} = \frac{25\,100}{300} = 83,67 \text{ mm} \quad \textbf{Vyhovuje}$$

$$W_{inst,z} = 49,503 \text{ mm} \leq \frac{l_z}{300} = \frac{25\,100}{300} = 83,67 \text{ mm} \quad \textbf{Vyhovuje}$$

Konečný průhyb

$$W_{net,fin} = W_{fin,G} + W_{fin,Q1} + W_{fin,Qi}$$

$$W_{fin,G} = W_{inst,G} (1 + k_{def}) \quad \text{- pro stálé zatížení}$$

$$W_{fin,Q,1} = W_{inst,Q,1} (1 + \psi_{2,1} k_{def}) \quad \text{- pro hlavní proměnné zatížení } Q_1$$

$$W_{fin,Q} = W_{inst,Q,i} (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def}) \quad \text{- pro ostatní proměnná zatížení } Q_i (i > 1)$$

$k_{def} = 2,0 \dots$ pro LLD, třída provozu III ... součinitel dotvarování

od stálého zatížení

$$W_{fin,st,y} = W_{inst,st,y} \cdot (1 + k_{def}) = 13,422 \cdot (1 + 2,0) = 40,266 \text{ mm}$$

$$W_{fin,st,z} = W_{inst,st,z} \cdot (1 + k_{def}) = 25,882 \cdot (1 + 2,0) = 77,646 \text{ mm}$$

od zatížení sněhem

$$w_{fin,sn,y} = w_{inst,sn,y} \cdot (1 + \psi_{2,sn} \cdot k_{def}) = 0,401 \cdot (1 + 0 \cdot 2,0) = 0,401 \text{ mm}$$

$$w_{fin,sn,z} = w_{inst,sn,z} \cdot (1 + \psi_{2,sn} \cdot k_{def}) = 17,128 \cdot (1 + 0 \cdot 2,0) = 17,128 \text{ mm}$$

od zatížení větrem

$$w_{fin,vitr,y} = w_{inst,vitr,y} \cdot (\psi_{0,vitr} + \psi_{2,vitr} \cdot k_{def}) = 10,979 \cdot (0,6 + 0 \cdot 2,0) = 5,490 \text{ mm}$$

$$w_{fin,vitr,z} = w_{inst,vitr,z} \cdot (\psi_{0,vitr} + \psi_{2,vitr} \cdot k_{def}) = 6,493 \cdot (0,6 + 0 \cdot 2,0) = 3,247 \text{ mm}$$

Výsledný konečný průhyb

$$w_{net,fin,y} = w_{fin,st,y} + w_{fin,sn,y} + w_{fin,vitr,y} = 40,266 + 0,401 + 5,490 = 46,157 \text{ mm}$$

$$w_{net,fin,z} = w_{fin,st,z} + w_{fin,sn,z} + w_{fin,vitr,z} = 77,646 + 17,128 + 3,247 = 98,021 \text{ mm}$$

Podmínka spolehlivosti

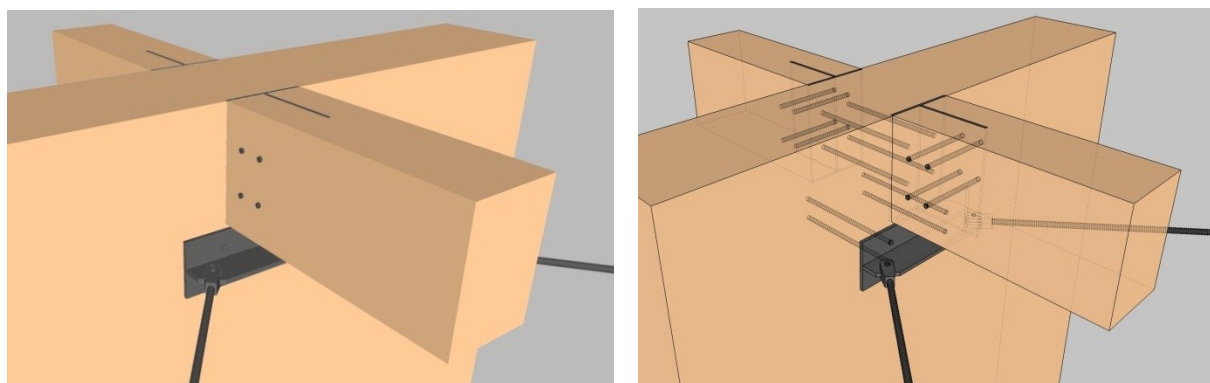
$$w_{net,fin,y} = 46,157 \text{ mm} \leq \frac{l_y}{300} = \frac{25\,100}{250} = 100,40 \text{ mm} \quad \textbf{Vyhovuje}$$

$$w_{net,fin,z} = 98,021 \text{ mm} \leq \frac{l_z}{300} = \frac{25\,100}{250} = 100,40 \text{ mm} \quad \textbf{Vyhovuje}$$

7.9.4 ZTUŽUJÍCÍ KONSTRUKCE

Prostorovou stabilitu celé konstrukce zajišťují tři pole příčných ocelových ztužidel, umístěných v osové vzdálenosti po 20 m v podélném směru konstrukce. Tedy na obou podélných koncích haly a uprostřed. Stabilita v podélném směru je zajištěna pomocí dřevěných rozpěr, které jsou rozmístěny v osových vzdálenostech po 4 m v příčném směru. Dřevěné rozpěry jsou navrženy a umístěny stejně jako vaznice. Ocelové táhla jsou ukotvena těsně pod dřevěné rozpěry na vlastní ocelové přípoje T průřezu.

Schéma konstrukce se ztužujícími ocelovými táhly a rozpěrami



7.9.4.1 STŘEŠNÍ OCELOVÉ TÁHLO

Předmětem posudku je střešní ocelové táhlo Macalloy 460 se závitem M 16 o průměru táhla d 15 mm a délce 6,400 m. Táhlo je vyrobeno z oceli o pevnosti f_y 460 MPa. Střešní ocelové táhlo zajišťuje prostorovou tuhost konstrukce. Táhlo je kloubově připojeno čepem k ocelovým T průřezům, pomocí nichž je přikotveno k vazníkům. Osová vzdálenost kotvení je 4 m, vždy přes dvě pole vaznic. Všechny pruty jsou stejného druhu a ze stejného profilu.

Schéma střešního táhla

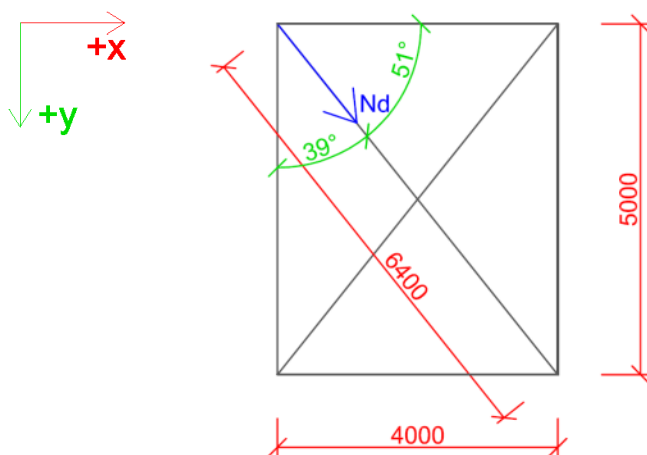


Schéma táhla v modelu z programu Scia Engineer



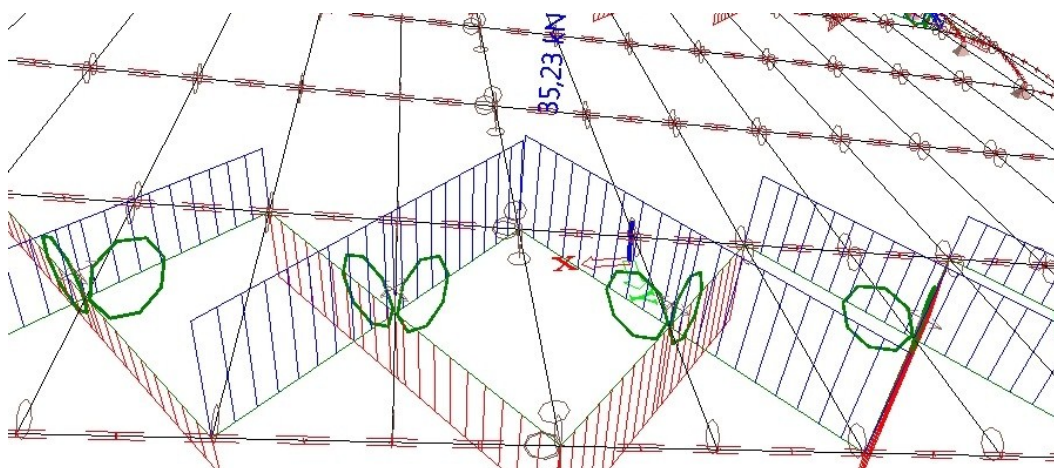
Vnitřní síly působící v táhlu

Pro výpočet je uvažována nejnepříznivější hodnota, tedy maximální normálová tahová síla působící v táhlu. Tlačené diagonály byly z výpočtu vyloučeny, protože jako vybočené se nazapojují do přenosu sil. Hodnota je z výpočetního programu Scia Engineer. Vykreslení vnitřní síly působící v táhlu je přiloženo v příloze č.5.

VNITŘNÍ SÍLA	HODNOTA
$N_{d \text{ tah}}$	+ 35,23 kN

Vnitřní síly z výpočetního programu Scia Engineer

Normálová tahová síla $N_{d \text{ tah}}$

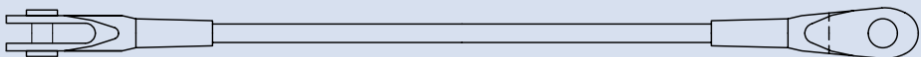


NÁVRH TÁHLA:

navrženy tyčové táhla Macalloy 460 (Tension Systems) se
závitem M 12 o průměru táhla $d = 11 \text{ mm}$
mez kluzu $f_y = 460 \text{ MPa}$
plocha oslabeného průřezu závitem $A_{\text{net}} = 79 \text{ mm}^2$
délka $6,400 \text{ m}$
únosnost táhla $N_{rd} = 36,9 \text{ kN}$

Tab. 9: Vlastnosti táhel Macalloy získané od výrobce [27]

Tabulka 1: Vlastnosti táhel Macalloy ve standardním provedení a v nerez provedení															
Závit	jednotka	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90* M100*
Průměr táhla	mm	10	11	15	19	22	28	34	39	45	52	60	72	82	87
Minimální mez kluzu	kN	25	36	69	108	156	249	364	501	660	912	1204	1756	2239	2533
Minimální mez pevnosti	kN	33	48	91	143	207	330	483	665	875	1209	1596	2329	2969	3358
Hmotnost táhla	Kg/m	0,50	0,75	1,40	2,20	3,00	4,80	7,10	9,40	12,50	16,70	22,20	32,00	41,50	46,70



Závit	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100
d (mm)	9	11	15	19	22	28	34	39	45	52	60	72	82	87	97
A _{net} (mm ²)	54	79	150	234	339	541	793	1090	1434	1982	2616	3818	4867	5505	6895
N _{u,Rd} (kN)	25,4	36,9	70,0	110,0	159	254	372	512	673	930	1228	1791	2283	2583	3235
N _{el,Rd} (kN)	22,7	32,7	62,7	98,2	142	226	331	455	600	829	1095	1596	2035	2303	2884

POSOUZENÍ STŘEŠNÍHO OCELOVÉHO TÁHLA

$$N_{ed} = 35,23 \text{ kN} \leq N_{Rd} = 36,9 \text{ kN} \quad (= (A_{net} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = (79 \text{ mm}^2 \cdot 460 \text{ MPa}) / 1,0)$$

$$(N_{ed} = 35,23 \text{ kN} \leq N_{Rd} = 43,7 \text{ kN} \quad (= (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} = (\frac{\pi \cdot 11^2}{4} \text{ mm}^2 \cdot 460 \text{ MPa}) / 1,0$$

... neoslabený průřez)

→ Vyhovuje

7.9.4.2 ROZPĚRA

Předmětem posudku je rozpěra obdélníkového průřezu o rozměrech 180 x 280 mm a délce 5 m. Rozpěra je vyrobená z lepeného lamelového dřeva GL 24h. Rozpěra zajišťuje tuhost v podélném směru. Staticky rozpěra působí jako prostý nosník. Rozpěry jsou od sebe vzáleny v osových vzdálenostech po 4 m. Rozpěry jsou kloubově uloženy na hlavní vazníky. Dřevěné rozpěry jsou navrženy a umístěny stejně jako vaznice.

Schéma rozpěry

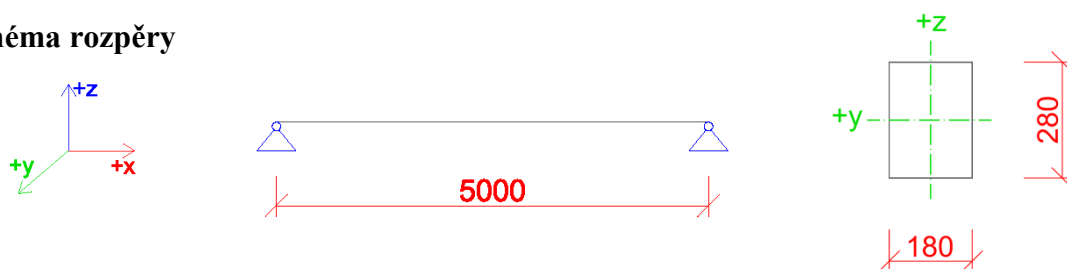
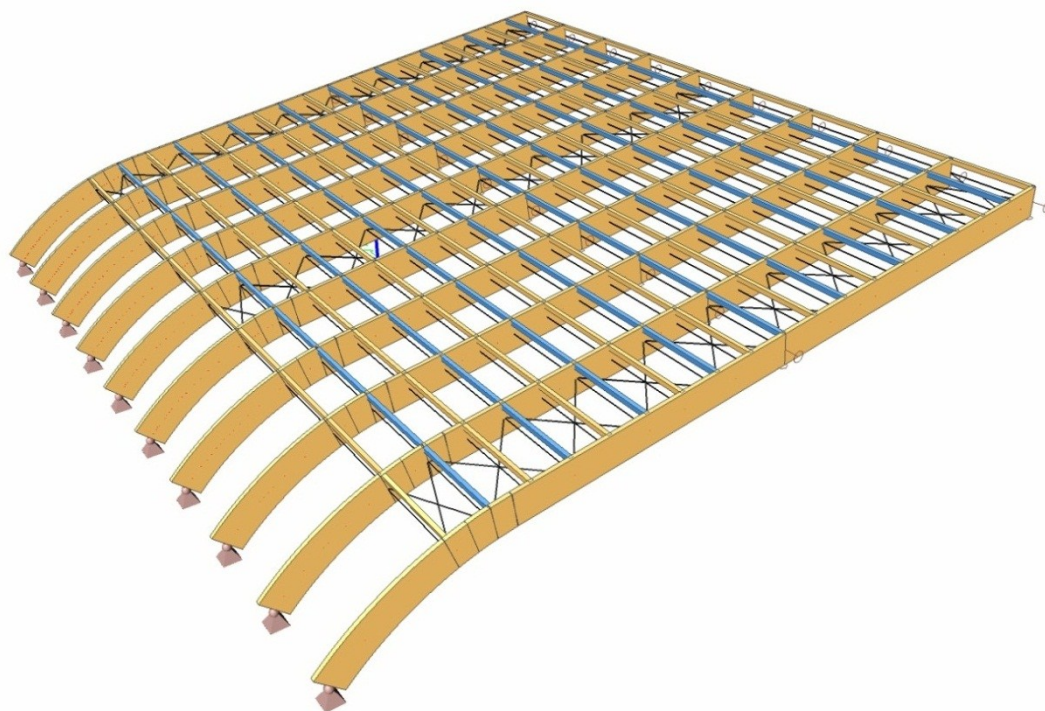


Schéma rozpěry v modelu z programu Scia Engineer



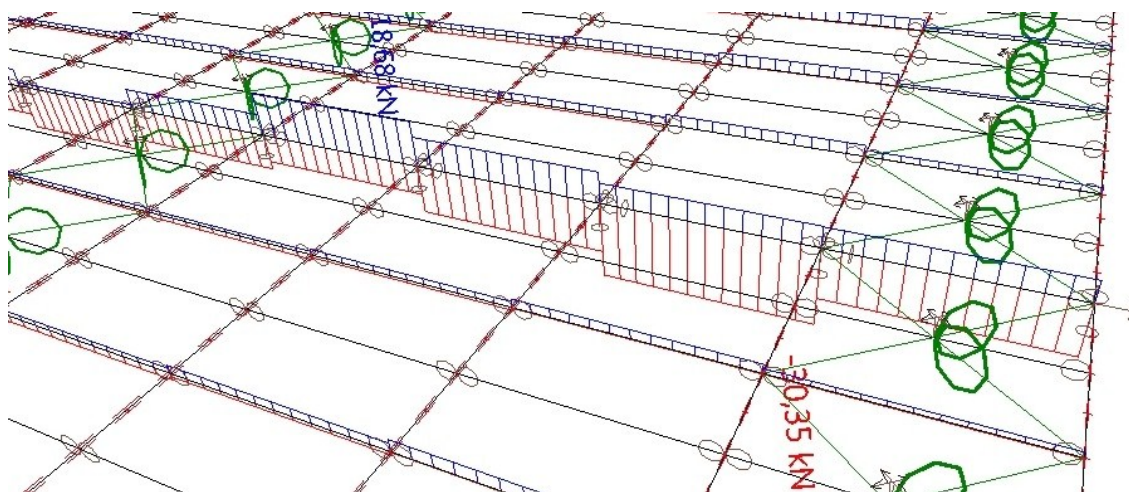
Vnitřní síly působící v rozpěře

Pro výpočet je uvažována nejnepříznivější maximální hodnota vnitřních sil. Hodnoty jsou z výpočetního programu Scia Engineer. Vykreslení jednotlivých vnitřních sil v rozpěrách je přiloženo v příloze č.6.

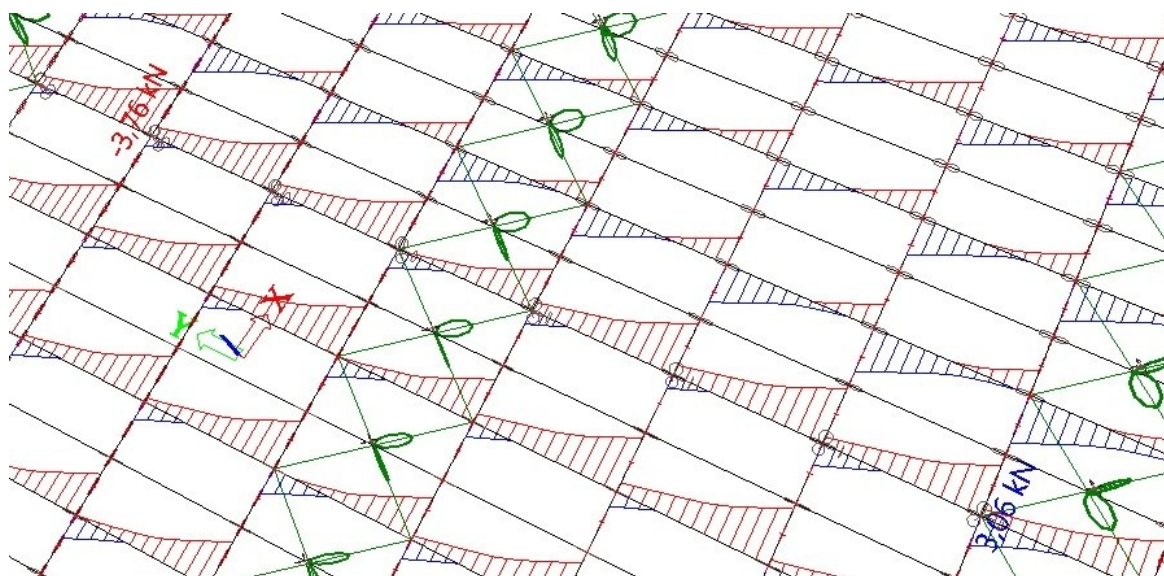
VNITŘNÍ SÍLY	HODNOTY	
$M_{y,d}$	+ 18,91 kNm	- 6,26 kNm
$M_{z,d}$	+ 7,08 kNm	- 4,30 kNm
$V_{y,d}$	+ 3,06 kN	- 3,76 kN
$V_{z,d}$	+ 15,05 kN	- 15,05 kN
N_d	+ 18,68 kN	- 30,35 kN

Vnitřní síly z výpočetního programu Scia Engineer

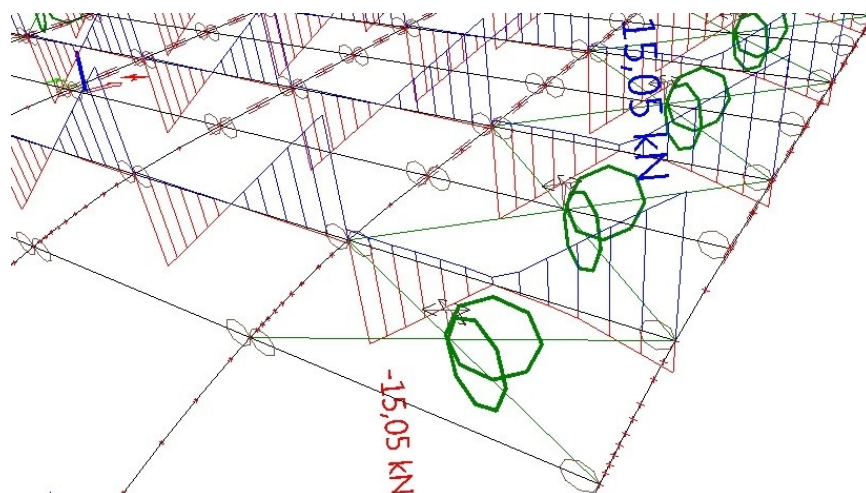
Normálová síla N_d



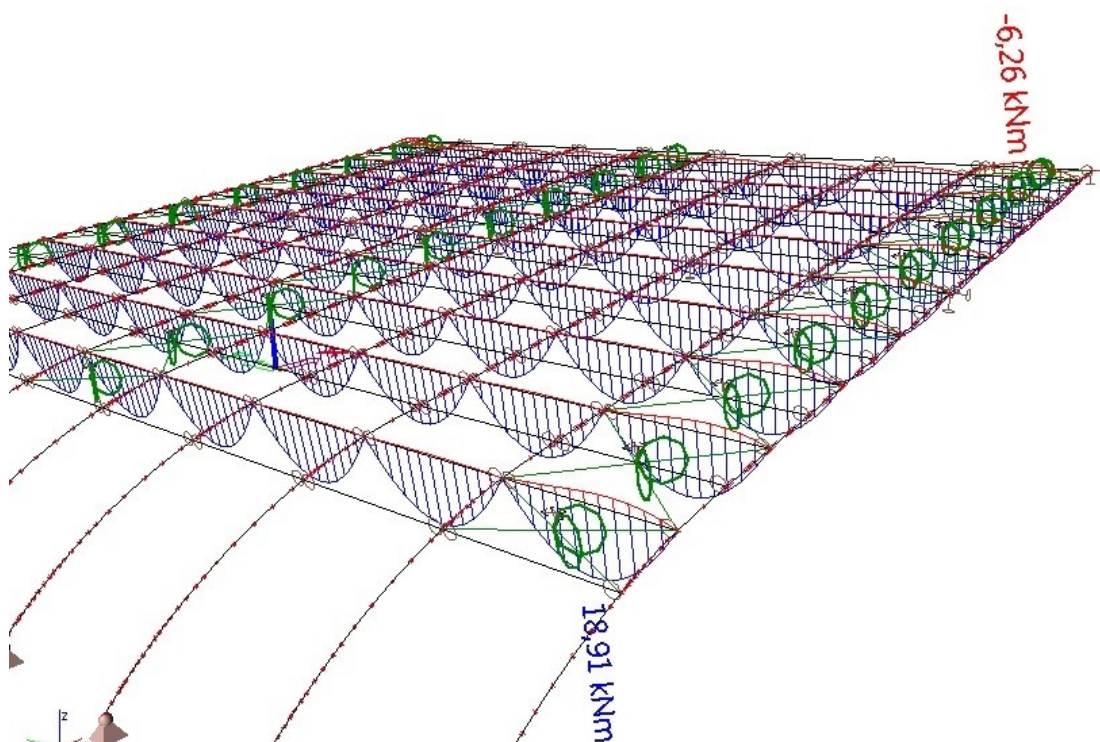
Posouvající síla $V_{y,d}$



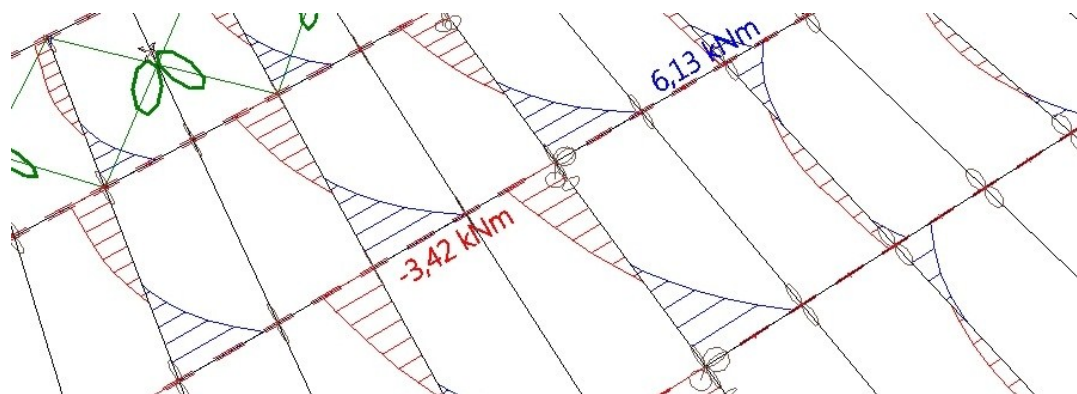
Posouvající síla $V_{z,d}$



Ohybový moment $M_{y,d}$



Ohybový moment $M_{z,d}$



NÁVRH ROZPĚRY: 180 x 280 mm , délka 5 m
z lepeného lamelového dřeva GL 24h
třída provozu III – krytý bazén - na straně bezpečné

Průřezové + materiálové charakteristiky

Třída pevnosti pro homogenní lepené lamelové dřevo GL 24h:

→ Pevnost v ohybu

$$f_{m,g,k} = 24 \text{ MPa}$$

→ Pevnost v tahu

○ Rovnoběžně s vlákny $f_{t,0,g,k} = 16,5 \text{ MPa}$

○ Kolmo k vláknům $f_{t,90,g,k} = 0,4 \text{ MPa}$

→ Pevnost v tlaku

○ Rovnoběžně s vlákny $f_{c,0,g,k} = 24 \text{ MPa}$

○ Kolmo k vláknům $f_{c,90,g,k} = 2,7 \text{ MPa}$

→ Pevnost ve smyku

$f_{v,g,k} = 2,7 \text{ MPa}$

→ Modul pružnosti E

○ Rovnoběžně s vlákny $E_{0,\text{mean},g} = 11\,600 \text{ MPa}$

○ 5% kvantil, rovnoběžně s vlákny $E_{0,05,g} = 9\,400 \text{ MPa}$

○ Kolmo k vláknům $E_{90,\text{mean},g} = 390 \text{ MPa}$

→ Hustota

$\rho_{g,k} = 380 \text{ kg/m}^3$

Délka prutu

$$l_{\text{ef}} = l = 5 \text{ m}$$

Plocha průřezu

$$A = b \cdot h = 180 \cdot 280 = 50\,400 \text{ mm}^2$$

Moment setrvačnosti

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 180 \cdot 280^3 = 329,3 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 280 \cdot 180^3 = 136,1 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Průřezový modul

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 180 \cdot 280^2 = 2352,0 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 280 \cdot 180^2 = 1512,0 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

POSOUZENÍ ROZPĚRY

A) Mezní stav únosnosti – Posouzení na prostý tlak

- nosník je po celé délce zajištěn proti příčné a torzní nestabilitě

Návrhová pevnost v tlaku

$$f_{c,0,g,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,0,g,k}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{24}{1,25} = 13,44 \text{ MPa}$$

$k_{\text{mod}} = 0,7$... modifikační součinitel pevnosti pro třídy provozu a třídy trvání zatížení
(rozhodující je krátkodobé zatížení) – třída provozu III

$\gamma_m = 1,25$... pro LLD ... dílčí součinitel vlastnosti materiálu

Návrhové normálové napětí v prostém tlaku

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{30,35 \cdot 10^3}{50,4 \cdot 10^3} = 0,60 \text{ MPa}$$

Posouzení napětí v tlaku

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,g,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,60 \cdot 10^6}{13,44 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,045 \leq 1$$

→ **Vyhovuje**

B) Mezní stav únosnosti – Posouzení na prostý ohyb

- nosník je po celé délce zajištěn proti příčné a torzní nestabilitě

Návrhová pevnost v ohybu

$$f_{m,g,d} = f_{m,y,d} = f_{m,z,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{24}{1,25} = 13,44 \text{ MPa}$$

$k_{\text{mod}} = 0,7$... modifikační součinitel pevnosti pro třídy provozu a třídy trvání zatížení
(rozhodující je krátkodobé zatížení) – třída provozu III

$\gamma_m = 1,25$... pro LLD ... dílčí součinitel vlastnosti materiálu

Návrhové napětí za ohybu k hlavním osám

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{18,91}{2352,0 \cdot 10^3} = 8,04 \text{ MPa} \leq f_{m,y,d} = 13,44 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{7,08}{1512,0 \cdot 10^3} = 4,68 \text{ MPa} \leq f_{m,z,d} = 13,44 \text{ MPa}$$

→ **Vyhovuje**

Podmínka pro napětí v prostém ohybu

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{8,04}{13,44} + 0,7 \cdot \frac{4,68}{13,44} \leq 1$$

$$0,84 \leq 1$$

$k_m = 0,7$... součinitel pro obdélníkové průřezy

→ Vyhovuje, využití průřezu 84 %

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$0,7 \cdot \frac{8,04}{13,44} + \frac{4,68}{13,44} \leq 1$$

$$0,77 \leq 1$$

$k_m = 0,7$... součinitel pro obdélníkové průřezy

→ Vyhovuje, využití průřezu 77 %

C) Mezní stav únosnosti – Kombinace prostého ohybu a osového tlaku

Podmínka pro kombinaci napětí v osovém tlaku a ohybu

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{0,60}{13,44} \right)^2 + \frac{8,04}{13,44} + 0,7 \cdot \frac{4,68}{13,44} \leq 1$$

$$0,84 \leq 1$$

→ Vyhovuje, využití průřezu 84 %

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{0,60}{13,44} \right)^2 + 0,7 \cdot \frac{8,04}{13,44} + \frac{4,68}{13,44} \leq 1$$

$$0,77 \leq 1$$

→ Vyhovuje, využití průřezu 77 %

D) Mezní stav únosnosti – Kombinace ohybu s vlivem klopení a tlaku

– ověření návrhu na straně bezpečné

Poloměr setrvačnosti

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{365,9 \cdot 10^6}{56,0 \cdot 10^3}} = 80,83 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{136,1 \cdot 10^6}{50,4 \cdot 10^3}} = 51,96 \text{ mm}$$

Štíhlostní poměry

$$\lambda_y = \frac{l_{ef}}{i_y} = \frac{5000}{80,83} = 61,86$$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef}}{i_z} = \frac{5000}{51,96} = 96,23$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,g,k}}{E_{0,05,g}}} = \frac{61,86}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot 10^6}{9400 \cdot 10^6}} = 0,99$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,g,k}}{E_{0,05,g}}} = \frac{96,23}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot 10^6}{9400 \cdot 10^6}} = 1,55$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (0,99 - 0,3) + 0,99^2] = 1,03$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (1,55 - 0,3) + 1,55^2] = 1,76$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,03 + \sqrt{1,03^2 - 0,99^2}} = 0,77$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,76 + \sqrt{1,76^2 - 1,55^2}} = 0,38$$

Posouzení napětí ve vzpěrném tlaku

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,g,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,60 \cdot 10^6}{0,77 \cdot 13,44 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,058 \leq 1$$

→ **Vyhovuje**

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,g,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,60 \cdot 10^6}{0,38 \cdot 13,44 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,117 \leq 1$$

→ **Vyhovuje**

Podmínka pro kombinaci napětí vzpěrného tlaku a ohybu

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,o,g,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,60 \cdot 10^6}{0,77 \cdot 13,44 \cdot 10^6} + \frac{8,04 \cdot 10^6}{13,44 \cdot 10^6} + 0,7 \cdot \frac{4,68 \cdot 10^6}{13,44 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,90 \leq 1$$

→ Vyhovuje

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,o,g,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,60 \cdot 10^6}{0,38 \cdot 13,44 \cdot 10^6} + 0,7 \cdot \frac{9,03 \cdot 10^6}{13,44 \cdot 10^6} + \frac{4,68 \cdot 10^6}{13,44 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,88 \leq 1$$

→ Vyhovuje

E) Mezní stav únosnosti – Posouzení na smyk

Návrhová pevnost ve smyku

$$f_{v,g,d} = f_{v,y,d} = f_{v,z,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{2,7}{1,25} = 1,51 \text{ MPa}$$

$k_{\text{mod}} = 0,7$... modifikační součinitel pevnosti pro třídy provozu a třídy trvání zatížení
(rozhodující je krátkodobé zatížení)

$\gamma_m = 1,25$... pro LLD ... dílčí součinitel vlastnosti material

Šířka příslušné části prvku

$$b_{\text{ef}} = k_{\text{cr}} \cdot b = 0,67 \cdot 180 = 120,6 \text{ mm} = 0,121 \text{ m}$$

$k_{\text{cr}} = 0,67$... pro LLD ... součinitel trhlin pro únosnost ve smyku

Návrhové napětí ve smyku k hlavním osám

$$\tau_{v,y} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{s,d,y}}{b_{\text{ef}} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{3,76}{0,121 \cdot 0,280} = 0,17 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,z} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{s,d,z}}{b_{\text{ef}} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{15,05}{0,121 \cdot 0,280} = 0,67 \text{ MPa}$$

Dvojosá napjatost ve smyku

$$\frac{\sqrt{\tau_{v,y}^2 + \tau_{v,z}^2}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sqrt{0,17^2 + 0,67^2}}{1,51} \leq 1$$

$$0,69 \leq 1$$

→ **Vyhovuje**

F) Mezní stav použitelnosti

Hodnoty okamžitého průhybu w_{inst} rozpěry jsou získány z výpočetního programu Scia Engineer. Okamžitý průhyb je rozdělený na průhyb od stálého zatížení, zatížení sněhem a zatížení větrem. Konečná deformace je pak spočítána pro kvazistálou kombinaci zatížení. Vykreslení okamžitých průhybů střešních vaznic je přiloženo v příloze č. 6.

Hodnoty okamžitého průhybu – z výpočetního programu Scia Engineer

OKAMŽITÝ PRŮHYB	OZNAČENÍ	HODNOTA [MM]	
		SMĚR Y	SMĚR Z
OD STÁLÉHO ZATÍŽENÍ	$w_{INST,ST}$	0,929	4,537
OD ZATÍŽENÍ SNĚHEM	$w_{INST,SN}$	0,364	4,230
OD ZATÍŽENÍ VĚTREM	$w_{INST,VITR}$	0,467	1,164

Délka průhybu $l_y = l_z = 5 \text{ m} = 5\,000 \text{ mm}$

Výsledný okamžitý průhyb

$$w_{inst,y} = w_{inst,st,y} + w_{inst,sn,y} + w_{inst,vitr,y} = 0,929 + 0,364 + 0,467 = 1,760 \text{ mm}$$

$$w_{inst,z} = w_{inst,st,z} + w_{inst,sn,z} + w_{inst,vitr,z} = 4,537 + 4,230 + 1,164 = 9,931 \text{ mm}$$

Podmínka spolehlivosti

$$w_{inst,y} = 1,760 \text{ mm} \leq \frac{l_y}{300} = \frac{5\,000}{300} = 16,67 \text{ mm} \quad \textbf{Vyhovuje}$$

$$w_{inst,z} = 9,931 \text{ mm} \leq \frac{l_z}{300} = \frac{5\,000}{300} = 16,67 \text{ mm} \quad \textbf{Vyhovuje}$$

Konečný průhyb

$$w_{net,fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q1} + w_{fin,Qj}$$

$$\begin{aligned} w_{fin,G} &= w_{inst,G} (1 + k_{def}) && \text{- pro stálé zatížení} \\ w_{fin,Q,1} &= w_{inst,Q,1} (1 + \psi_{2,1} k_{def}) && \text{- pro hlavní proměnné zatížení } Q_1 \\ w_{fin,Q} &= w_{inst,Q,i} (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def}) && \text{- pro ostatní proměnná zatížení } Q_i (i > 1) \end{aligned}$$

$k_{def} = 2,0$... pro LLD, třída provozu III ... součinitel dotvarování

od stálého zatížení

$$w_{fin,st,y} = w_{inst,st,y} \cdot (1 + k_{def}) = 0,929 \cdot (1 + 2,0) = 2,787 \text{ mm}$$

$$w_{fin,st,z} = w_{inst,st,z} \cdot (1 + k_{def}) = 4,537 \cdot (1 + 2,0) = 13,611 \text{ mm}$$

od zatížení sněhem

$$w_{fin,sn,y} = w_{inst,sn,y} \cdot (1 + \psi_{2,sn} \cdot k_{def}) = 0,364 \cdot (1 + 0 \cdot 2,0) = 0,364 \text{ mm}$$

$$w_{fin,sn,z} = w_{inst,sn,z} \cdot (1 + \psi_{2,sn} \cdot k_{def}) = 4,230 \cdot (1 + 0 \cdot 2,0) = 4,230 \text{ mm}$$

od zatížení větrem

$$w_{fin,vitr,y} = w_{inst,vitr,y} \cdot (\psi_{0,vitr} + \psi_{2,vitr} \cdot k_{def}) = 0,467 \cdot (0,6 + 0 \cdot 2,0) = 0,234 \text{ mm}$$

$$w_{fin,vitr,z} = w_{inst,vitr,z} \cdot (\psi_{0,vitr} + \psi_{2,vitr} \cdot k_{def}) = 1,164 \cdot (0,6 + 0 \cdot 2,0) = 0,582 \text{ mm}$$

Výsledný konečný průhyb

$$w_{net,fin,y} = w_{fin,st,y} + w_{fin,sn,y} + w_{fin,vitr,y} = 2,787 + 0,364 + 0,234 = 3,385 \text{ mm}$$

$$w_{net,fin,z} = w_{fin,st,z} + w_{fin,sn,z} + w_{fin,vitr,z} = 13,611 + 4,230 + 0,582 = 18,423 \text{ mm}$$

Podmínka spolehlivosti

$$w_{net,fin,y} = 3,385 \text{ mm} \leq \frac{l_y}{300} = \frac{5\,000}{250} = 20,00 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$w_{net,fin,z} = 18,423 \text{ mm} \leq \frac{l_z}{300} = \frac{5\,000}{250} = 20,00 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

7.9.5 KOTEVNÍ SPOJE

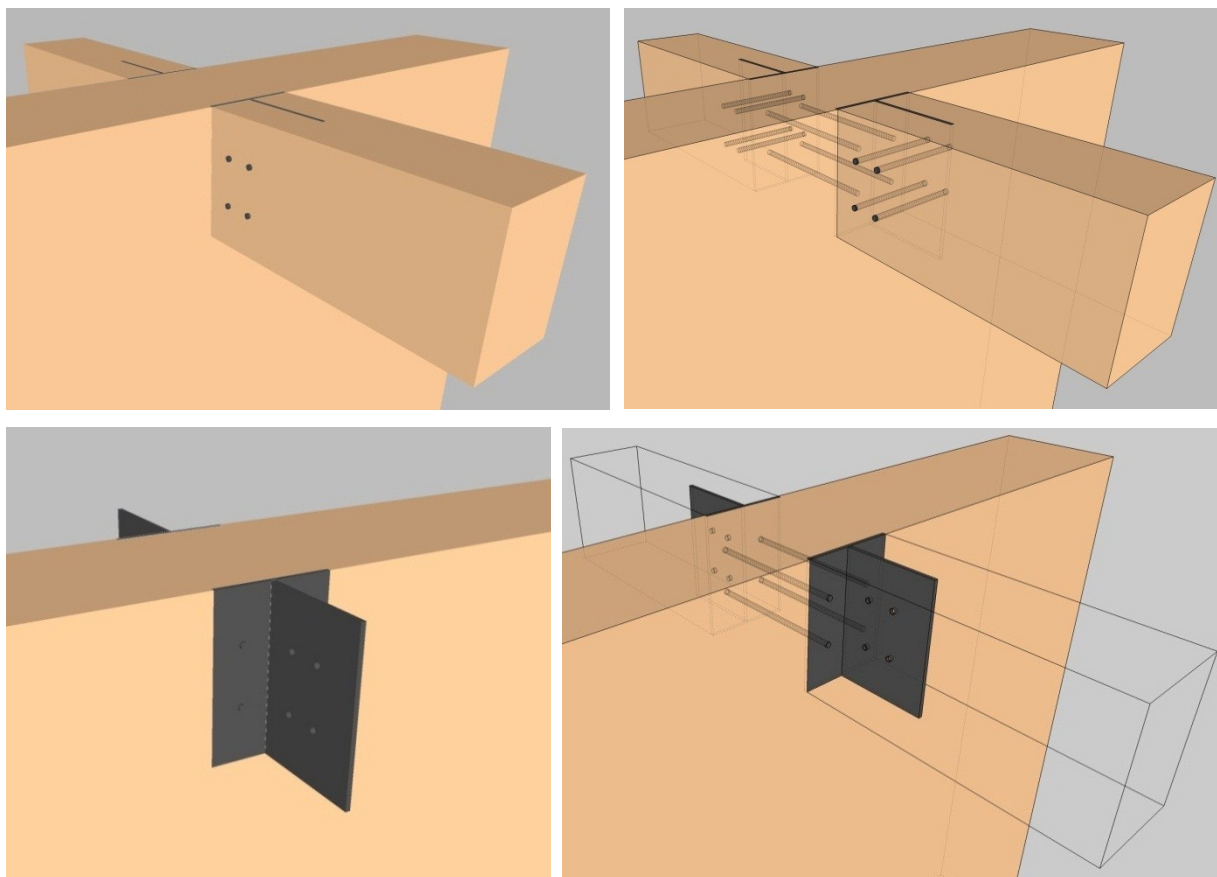
7.9.5.1 PŘÍPOJ DŘEVĚNÝCH VAZNIC NA VAZNÍK

Předmětem návrhu a posudku je přípoj vaznic, krajních vaznic a rozpěr k vazníkům. Jedná se o ocelový přípoj pomocí plechů o tloušťce 8 mm svařených do T tvaru. Plechy jsou připojeny pomocí svorníků o třídě pevnosti 5.8. Plechy jsou navzájem spojeny koutovým

svarem. Přípoj je posuzovaný na maximální tahovou normálovou sílu a na maximální smykovou sílu, obě převzaty z programu Scia Engineer.

Přesný detail přípoje je přiložený v projektové dokumentaci. Schéma přípoje je přiloženo v příloze č. 8.

Schéma přípoje



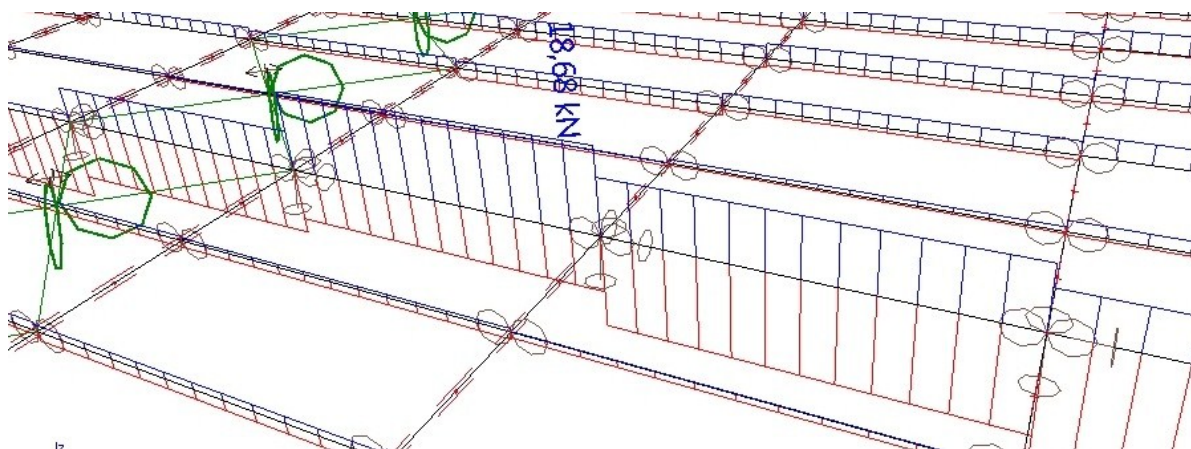
Vnitřní síly působící na přípoj

Pro výpočet je uvažována nejnepříznivější maximální hodnota vnitřních sil. Hodnoty jsou z výpočetního programu Scia Engineer. Vykreslení jednotlivých vnitřních sil působících na přípoj je přiloženo v příloze č.7.

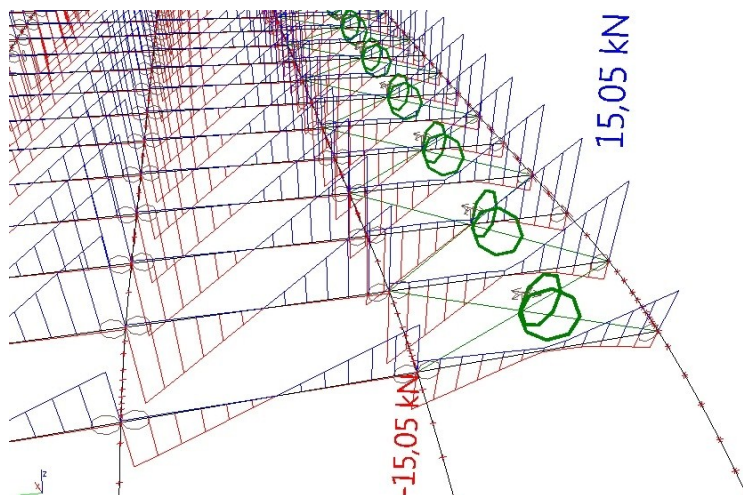
VNITŘNÍ SÍLA	HODNOTA
$N_d \text{ tah}$	18,68 kN
$V_{z,d}$	15,05 kN

Vnitřní síly z výpočetního programu Scia Engineer

Maximální normálová tahová síla $N_{d\text{ tah}}$



Maximální smyková síla $V_{z,d}$



A) NÁVRH PŘÍPOJE POMOCÍ PLECHU A SVORNÍKŮ NA VAZNÍK

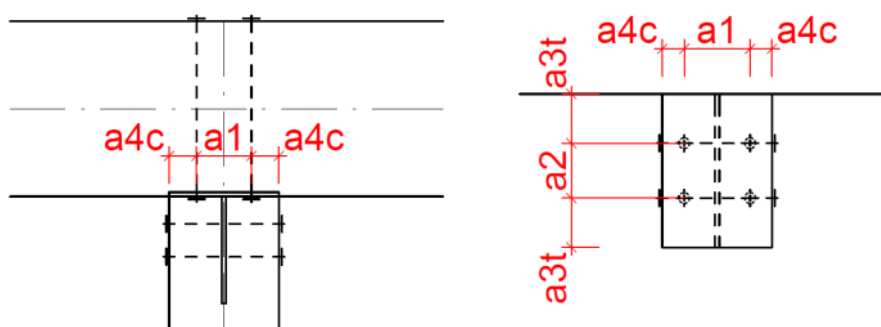
NÁVRH SVORNÍKU:	třída pevnosti 5.8	$f_{ub} = 500 \text{ MPa}, f_{yb} = 400 \text{ MPa}$
	Průměr šroubu	$d = 12 \text{ mm}$
	Průřezová plocha šroubu	$A_s = 84,3 \text{ mm}^2$
	Navržený počet šroubů	$n = 4$
	Průměr otvoru pro šroub	$d_0 = 14 \text{ mm}$
	Osové vzdálenosti šroubů	$a_1 = 80 \text{ mm}$
		$a_2 = 100 \text{ mm}$
		$a_{3,t} = 90 \text{ mm}$
		$a_{4,c} = 50 \text{ mm}$

NÁVRH PLECHU:	Součinitel bezpečnosti	$\gamma_{M2} = 1,25$
	tloušťka plechu	$t_p = 8 \text{ mm}$
	ocel S235	$f_u = 360 \text{ MPa}, f_y = 235 \text{ MPa}$

Osově vzdálenosti svorníků

$$\begin{aligned}
 a_1 &= (4 + |\cos \alpha|) \cdot d = (4 + |\cos 0|) \cdot 12 = 60 & \rightarrow \text{návrh} &= 80 \text{ mm} \\
 a_2 &= 4 \cdot d = 4 \cdot 12 = 48 & \rightarrow \text{návrh} &= 100 \text{ mm} \\
 a_{3,t} &= \max(7 \cdot d = 84; 80) & \rightarrow \text{návrh} &= 90 \text{ mm} \\
 a_{4,c} &= 3 \cdot d = 3 \cdot 12 = 36 & \rightarrow \text{návrh} &= 50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Obr.: Osově vzdálenosti svorníků



Posouzení svorníků na střih

$$0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 12 = 6 \text{ mm} \leq t_p = 8 \text{ mm} \leq d = 12 \text{ mm}$$

→ interpolace mezi tenkou a tlustou ocelovou deskou

Charakteristická pevnost v otláčení ve dřevěném prvku – předvrtané otvory

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 380 = 27,42 \text{ MPa}$$

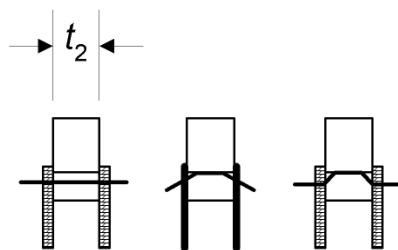
$\rho_k = 380 \text{ kN/m}^3$... hustota dřevěného prvku

Charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 500 \cdot 12^{2,6} = 95\,932 \text{ Nmm}$$

Charakteristická únosnost jednoho spojovacího prostředku

tloušťka dřevěného prvku $t_2 = 220 \text{ mm}$



→ Pro tenké ocelové desky jako vnější prvky dvojstřížných spojů

$$F_{v,Rk,1} = \min \left[\begin{array}{l} 0,5 \cdot f_{h,k} \cdot t_2 \cdot d \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} 0,5 \cdot 27,42 \cdot 220 \cdot 12 \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 95932 \cdot 27,42 \cdot 12} \end{array} \right]$$

$$= \min \left[\begin{array}{l} 36,19 \text{ kN} \\ 9,14 \text{ kN} \end{array} \right]$$

$$F_{v,Rk,1} = 9,14 \text{ kN}$$

→ Pro tlusté ocelové desky jako vnější prvky dvojstřížných spojů

$$F_{v,Rk,1} = \min \left[\begin{array}{l} 0,5 \cdot f_{h,k} \cdot t_2 \cdot d \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} 0,5 \cdot 27,42 \cdot 220 \cdot 12 \\ 2,3 \cdot \sqrt{95932 \cdot 27,42 \cdot 12} \end{array} \right]$$

$$= \min \left[\begin{array}{l} 36,19 \text{ kN} \\ 12,92 \text{ kN} \end{array} \right]$$

$$F_{v,Rk,1} = 12,92 \text{ kN}$$

→ Interpolace

$$F_{v,Rk} = 11,03 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{11,03}{1,25} = 6,18 \text{ kN}$$

Potřebný počet svorníků

$$n = \frac{N_d}{F_{v,Rd}} = \frac{15,05}{6,18} = 2,44 \quad \dots \text{NÁVRH} \quad 2 \times 2 \text{ ks} = 4 \text{ ks}$$

Únosnost svorníku ve stříhu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 500 \cdot 84,3}{1,25} = 16,86 \text{ kN (1 šroub)}$$

$$\alpha_v = 0,5 \dots \text{pro šrouby 5.8}$$

$$F_{v,Rd} \cdot 4 \text{ šrouby} = 16,86 \cdot 4 = 67,44 \text{ kN} \geq V_d = 15,05 \text{ kN}$$

→ **Vyhovuje**

Posouzení únosnosti plechu v otláčení

$$a_b = \min \left[\begin{array}{c} 1,00 \\ \frac{f_{u,b}}{f_u} \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 1,00 \\ \frac{500}{360} \\ \frac{90}{3 \cdot 14} \\ \frac{100}{3 \cdot 14} - \frac{1}{4} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 1,00 \\ 1,39 \\ 2,14 \\ 2,13 \end{array} \right]$$

$$k_1 = \min \left[\begin{array}{c} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{50}{14} - 1,7 \\ 1,4 \cdot \frac{80}{14} - 1,7 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 2,50 \\ 8,30 \\ 6,30 \end{array} \right]$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 360 \cdot 10^6 \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 69,12 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 69,12 \text{ kN} \geq V_d = 15,05 \text{ kN}$$

→ **Vyhovuje**

Únosnost svorníku v tahu

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,63 \cdot 500 \cdot 84,3}{1,25} = 21,24 \text{ kN (1 šroub)}$$

$$k_2 = 0,63 \dots \text{pro zapuštěné šrouby}$$

$$F_{t,Rd} \cdot 4 \text{ šrouby} = 21,24 \cdot 4 = 84,96 \text{ kN} \geq N_d = 18,68 \text{ kN}$$

→ **Vyhovuje**

Kombinace střihu a tahu

$$\frac{V_d}{F_{v,Rd}} + \frac{N_d}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{15,05}{67,44} + \frac{18,68}{1,4 \cdot 84,96} \leq 1$$

$$0,38 \leq 1$$

→ **Vyhovuje**

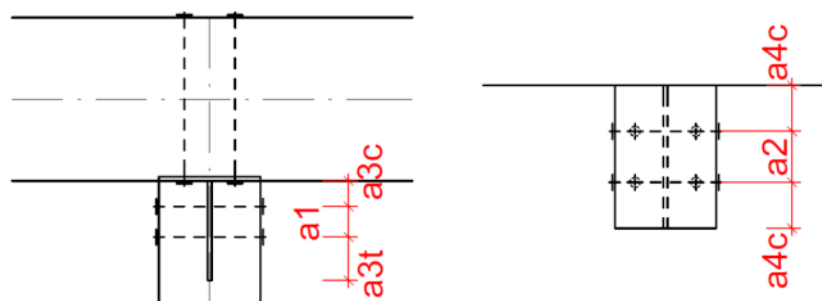
B) NÁVRH PŘÍPOJE POMOCÍ PLECHU A SVORNÍKU VE VAZNICI

NÁVRH SVORNÍKU:	třída pevnosti 5.8	$f_{ub} = 500 \text{ MPa}, f_{yb} = 400 \text{ MPa}$
	Průměr šroubu	$d = 12 \text{ mm}$
	Průřezová plocha šroubu	$A_s = 84,3 \text{ mm}^2$
	Navržený počet šroubů	$n = 4$
	Průměr otvoru pro šroub	$d_0 = 14 \text{ mm}$
	Osové vzdálenosti šroubů	$a_1 = 60 \text{ mm}$ $a_2 = 100 \text{ mm}$ $a_{3,c} = 50 \text{ mm}$ $a_{3,t} = 85 \text{ mm}$ $a_{4,c} = 90 \text{ mm}$
NÁVRH PLECHU:	Součinitel bezpečnosti	$\gamma_{M2} = 1,25$
	tloušťka plechu	$t_p = 8 \text{ mm}$
	ocel S235	$f_u = 360 \text{ MPa}, f_y = 235 \text{ MPa}$

Osové vzdálenosti svorníků

$a_1 = (4 + \cos\alpha) \cdot d = (4 + \cos 0) \cdot 12 = 60$	→ návrh = 60 mm
$a_2 = 4 \cdot d = 4 \cdot 12 = 48$	→ návrh = 100 mm
$a_{3,c} = 4 \cdot d = 4 \cdot 12 = 48$	→ návrh = 50 mm
$a_{3,t} = \max(7 \cdot d = 84 \text{ mm}; 80 \text{ mm})$	→ návrh = 85 mm
$a_{4,c} = 3 \cdot d = 3 \cdot 12 = 36$	→ návrh = 90 mm

Obr.: Osové vzdálenosti svorníků



Posouzení svorníků na střih

Charakteristická pevnost v otláčení ve dřevěném prvku – předvrtané otvory

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 380 = 27,42 \text{ MPa}$$

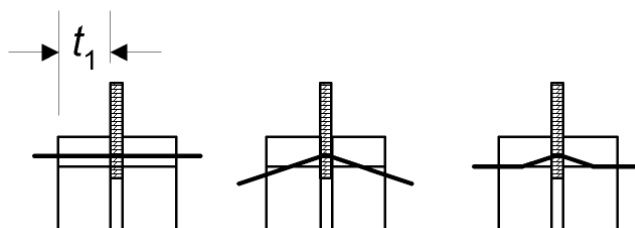
$$\rho_k = 380 \text{ kN/m}^3 \dots \text{ hustota dřevěného prvku}$$

Charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 500 \cdot 12^{2,6} = 95\,932 \text{ Nmm}$$

Charakteristická únosnost pro jeden střih jednoho spojovacího prostředku

$$\text{tloušťka dřevěného prvku: } t_1 = (200 - t_p)/2 = (180 - 8)/2 = 86 \text{ mm}$$



Pro ocelovou desku libovolné tl. jako střední prvek dvojstřížného spoje

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} \\ f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \end{array} \right\}$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 27,42 \cdot 86 \cdot 12 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 95932}{27,42 \cdot 12 \cdot 86^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{95932 \cdot 27,42 \cdot 12} \\ 27,42 \cdot 86 \cdot 12 \end{array} \right\}$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 13,268 \text{ kN} \\ 12,922 \text{ kN} \\ 28,297 \text{ kN} \end{array} \right\}$$

$$F_{v,Rk} = 12,922 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{12,922}{1,25} = 7,24 \text{ kN}$$

Potřebný počet svorníků

$$n = \frac{N_d}{F_{v,Rd}} = \frac{18,68}{7,24} = 2,58 \quad \dots \text{NÁVRH} \quad 2 \times 2 \text{ ks} = 4 \text{ ks}$$

Účinný počet svorníků v řadě rovnoběžně s vlákny

$$n_{ef} = \min \left[\begin{array}{l} n \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} 2 \\ 2^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{60}{13 \cdot 12}} = 1,47 \end{array} \right]$$

$$n_{ef} = 1,47$$

Účinná charakteristická únosnost spojovacích prostředků rovnoběžně s vlákny

$$F_{v,ef,Rd} = 2 \cdot n_{ef} \cdot F_{v,Rd} = 2 \cdot 1,47 \cdot 7,24 = 21,29 \text{ kN}$$

$$F_{v,ef,Rd} = 21,29 \text{ kN} \geq N_d = 18,68 \text{ kN}$$

→ **Vyhovuje**

Únosnost svorníku ve stříhu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 500 \cdot 84,3}{1,25} = 16,86 \text{ kN (1 šroub)}$$

$$\alpha_v = 0,5 \dots \text{pro šrouby 5.8}$$

$$F_{v,Rd} \cdot 4 \text{ šrouby} = 16,86 \cdot 4 = 67,44 \text{ kN} \geq N_d = 18,68 \text{ kN}$$

→ **Vyhovuje**

Posouzení únosnosti plechu v otláčení

$$a_b = \min \left[\begin{array}{l} 1,0 \\ \frac{f_{u,b}}{f_u} \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} 1,0 \\ \frac{500}{360} \\ \frac{50}{3 \cdot 14} \\ \frac{60}{3 \cdot 14} - \frac{1}{4} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} 1,0 \\ 1,39 \\ 1,19 \\ 1,18 \end{array} \right]$$

$$k_1 = \min \left[\begin{array}{l} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{100}{14} - 1,7 \\ 1,4 \cdot \frac{90}{14} - 1,7 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} 2,5 \\ 18,3 \\ 9,0 \end{array} \right]$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 360 \cdot 10^6 \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 69,12 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 69,12 \text{ kN} \geq N_d = 18,68 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

C) NÁVRH A POSOUZENÍ KOUTOVÉHO SVARU T PRŮŘEZU

NÁVRH SVARU: účinná výška svaru $a = 3 \text{ mm}$
 účinná délka svaru $l = 280 \text{ mm}$
 tloušťka svařovaných plechů $t_p = 8 \text{ mm}$

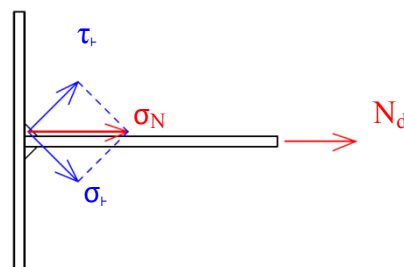
Průřezová plocha svaru $A_w = 2 \cdot l \cdot a = 2 \cdot 280 \cdot 3 = 1\,680 \text{ mm}^2$

Složky napětí

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_d}{A_w} = \frac{15,05 \cdot 10^3}{1680} = 8,96 \text{ MPa}$$

$$\sigma_N = \frac{N_d}{A_w} = \frac{18,68 \cdot 10^3}{1680} = 11,12 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_N}{\sqrt{2}} = \frac{11,12}{\sqrt{2}} = 7,86 \text{ MPa}$$



Posouzení svaru

$$\sigma_{\perp} = 7,86 \text{ MPa}$$

$$\leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)}$$

$$\leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{7,86^2 + 3 \cdot (7,86^2 + 8,96^2)}$$

$$\leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$22,09 \text{ MPa}$$

$$\leq 360 \text{ MPa}$$

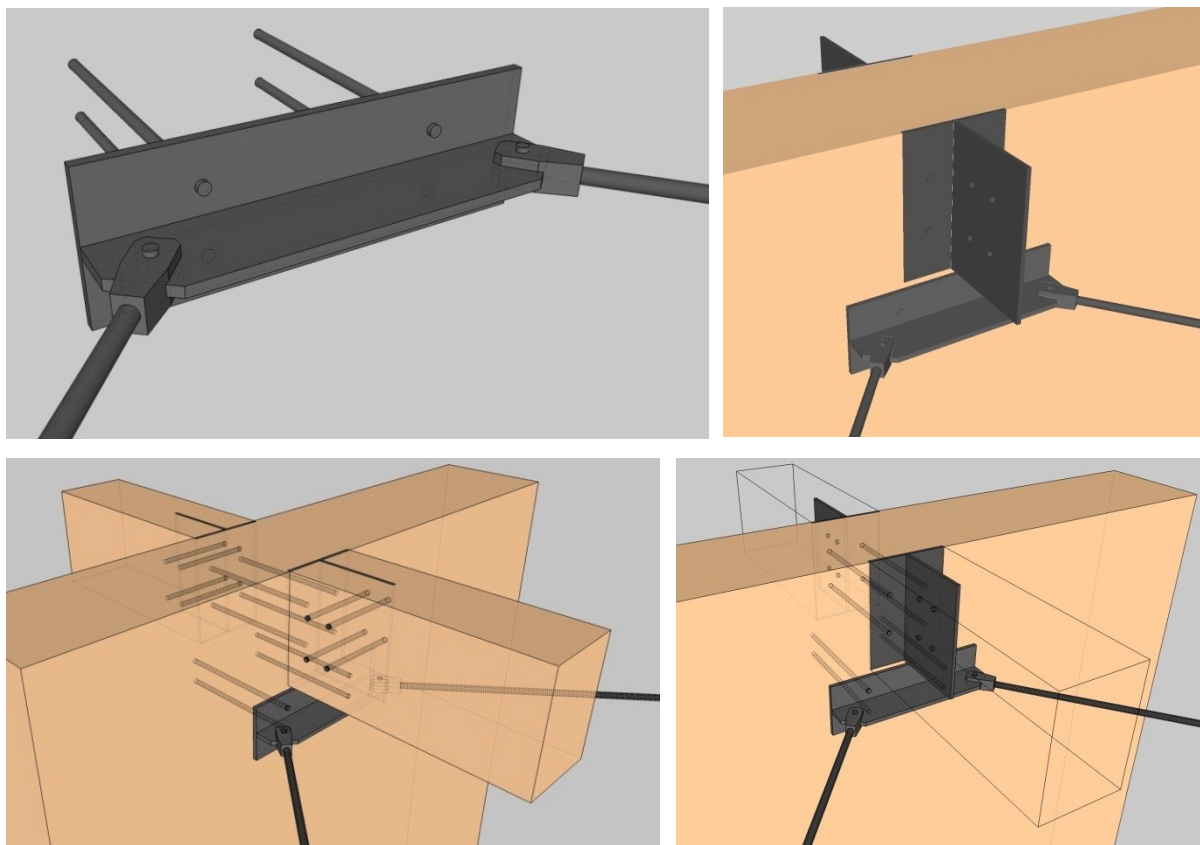
→ Vyhovuje

7.9.5.2 PŘÍPOJ OCELOVÉHO TÁHLA NA VAZNÍKY

Předmětem návrhu a posudku je přípoj táhla k hlavním vazníkům. Jedná se o ocelový přípoj pomocí plechů o tloušťce 10 mm svařených do T tvaru. Plechy jsou připojeny pomocí svorníků o třídě pevnosti 5.8. Plechy jsou k sobě navzájem přivařeny koutovým svarem. Přípoj je posuzován na maximální tahovou normálovou sílu, získanou z programu Scia Endineer.

Přesný detail přípoje je přiložený v projektové dokumentaci. Schéma přípoje je přiloženo v příloze č. 9.

Schéma přípoje



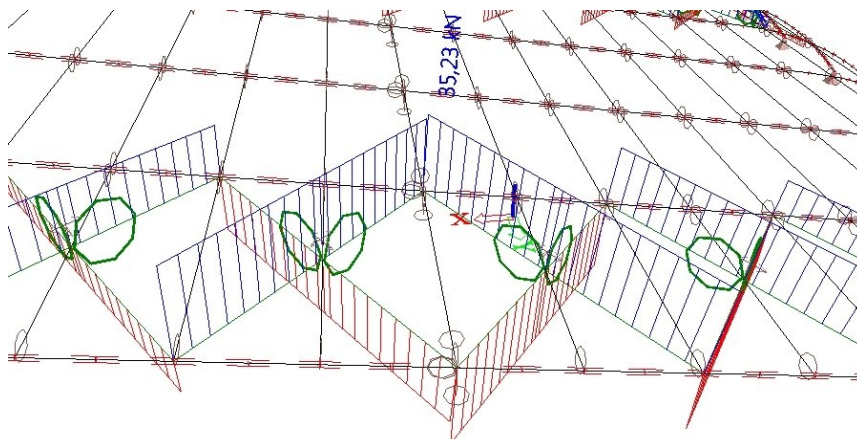
Vnitřní síly působící na přípoj

Pro výpočet je uvažována nejnepříznivější maximální hodnota vnitřních sil. Hodnoty jsou z výpočetního program Scia Engineer. Vykreslení jednotlivých vnitřních sil působících na přípoj je přiloženo v příloze č.8.

VNITŘNÍ SÍLA	HODNOTA
$N_{d \text{ tah}}$	+ 35,23 kN

Vnitřní síly z výpočetního programu Scia Engineer

Maximální tahová normálová síla $N_{d \text{ tah}}$



A) NÁVRH PŘÍPOJE POMOCÍ PLECHU A SVORNÍKŮ NA VAZNÍK

NÁVRH SVORNÍKU:	třída pevnosti 6.8	$f_{ub} = 600 \text{ MPa}, f_{yb} = 640 \text{ MPa}$
	Průměr šroubu	$d = 12 \text{ mm}$
	Průřezová plocha šroubu	$A_s = 84,3 \text{ mm}^2$
	Navržený počet šroubů	$n = 4$
	Průměr otvoru pro šroub	$d_0 = 14 \text{ mm}$
	Osové vzdálenosti šroubů	$a_1 = 230 \text{ mm}$ $a_2 = 60 \text{ mm}$ $a_{3,t} = 100 \text{ mm}$ $a_{4,t} = 40 \text{ mm}$
NÁVRH PLECHU:	Součinitel bezpečnosti	$\gamma_{M2} = 1,25$
	tloušťka plechu	$t_p = 10 \text{ mm}$
	ocel S235	$f_u = 360 \text{ MPa}, f_y = 235 \text{ MPa}$

Osové vzdálenosti svorníků

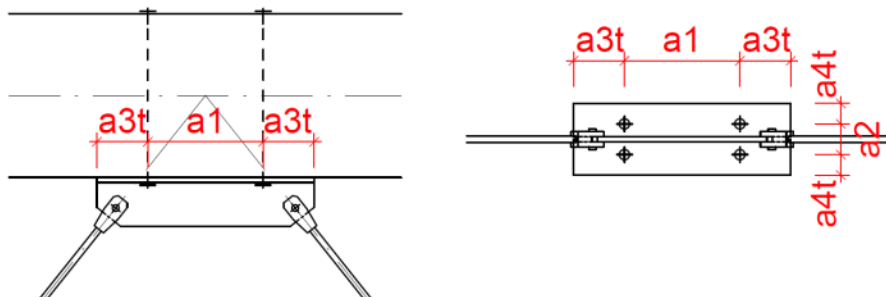
$$a_1 = (4 + \cos\alpha) \cdot d = (4 + \cos 0) \cdot 12 = 60 \quad \rightarrow \text{návrh} = 230 \text{ mm}$$

$$a_2 = 4 \cdot d = 4 \cdot 12 = 48 \quad \rightarrow \text{návrh} = 60 \text{ mm}$$

$$a_{3,t} = \max (7 \cdot d = 84 \text{ mm}; 80 \text{ mm}) \rightarrow \text{návrh} = 100 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = \max [(2 + 2 \cdot \sin 0) \cdot d = 24; 3 \cdot d = 36] \rightarrow \text{návrh} = 40 \text{ mm}$$

Obr.: Osově vzdálenosti svorníků

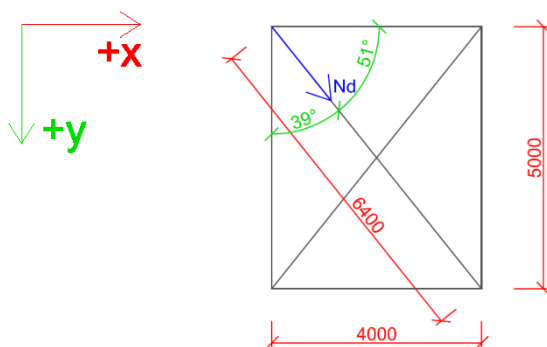


Rozklad působící normálové síly N

$$N_{\parallel} = \cos 39^{\circ} \cdot N_d = \cos 51^{\circ} \cdot 35,23 = 22,17 \text{ kN}$$

$$N_{\perp} = \sin 51^{\circ} \cdot N_d = \sin 51^{\circ} \cdot 35,23 = 27,38 \text{ kN}$$

Obr.: Schéma zhlá a dané působící vnitřní síly



Posouzení svorníků na stříh

$$0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 12 = 6 \text{ mm} \leq t_p = 10 \text{ mm} \leq d = 12 \text{ mm}$$

→ interpolace mezi tenkou a tlustou ocelovou deskou

Charakteristická pevnost v otlacení ve dřevěném prvku – předvrtané otvory

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 380 = 27,42 \text{ MPa}$$

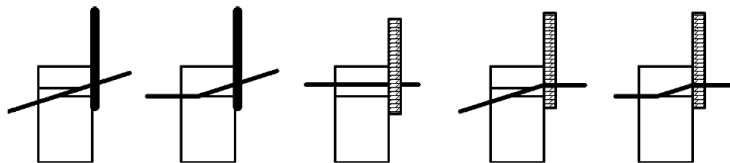
$$\rho_k = 380 \text{ kN/m}^3 \dots \text{ hustota dřevěného prvku}$$

Charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 600 \cdot 12^{2,6} = 115118 \text{ Nmm}$$

Charakteristická únosnost jednoho spojovacího prostředku

tloušťka dřevěného prvku $t_1 = 220 \text{ mm}$



→ Pro tenkou ocelovou desku jednostřížně namáhanou

$$F_{v,Rk,1} = \min \left[\begin{array}{l} 0,4 \cdot f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} 0,4 \cdot 27,42 \cdot 220 \cdot 12 \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 115118 \cdot 27,42 \cdot 12} \end{array} \right]$$

$$= \min \left[\begin{array}{l} 28,96 \text{ kN} \\ 10,01 \text{ kN} \end{array} \right]$$

$$F_{v,Rk,1} = 10,01 \text{ kN}$$

→ Pro tlustou ocelovou desku jednostřížně namáhanou

$$F_{v,Rk,2} = \min \left[\begin{array}{l} f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} \\ f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \end{array} \right]$$

$$= \min \left[\begin{array}{l} 27,42 \cdot 220 \cdot 12 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 115118}{27,42 \cdot 12 \cdot 220^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{115118 \cdot 27,42 \cdot 12} \\ 27,42 \cdot 220 \cdot 12 \end{array} \right]$$

$$= \min \left[\begin{array}{l} 30,72 \text{ kN} \\ 14,16 \text{ kN} \\ 72,39 \text{ kN} \end{array} \right]$$

$$F_{v,Rk,2} = 14,16 \text{ kN}$$

→ Interpolace

$$F_{v,Rk} = 12,09 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{12,09}{1,25} = 6,77 \text{ kN}$$

Potřebný počet svorníků

$$n = \frac{N_{||}}{F_{v,Rd}} = \frac{22,17}{6,77} = 3,27$$

... **NÁVRH 2 x 2 ks = 4 ks**

Účinný počet svorníků v řadě rovnoběžně s vlákny

$$n_{ef} = \min \left[\begin{array}{c} n \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 2 \\ 2^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{230}{13 \cdot 12}} = 2,06 \end{array} \right]$$

$$n_{ef} = 2$$

Účinná charakteristická únosnost spojovacích prostředků rovnoběžně s vlákny

$$F_{v,ef,Rd} = 2 \cdot n_{ef} \cdot F_{v,Rd} = 2 \cdot 2 \cdot 6,77 = 27,08 \text{ kN}$$

$$F_{v,ef,Rd} = 27,08 \text{ kN} \geq N_{||} = 22,17 \text{ kN}$$

→ **Vyhovuje**

Únosnost svorníku ve střihu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 500 \cdot 84,3}{1,25} = 16,86 \text{ kN (1 šroub)}$$

$$\alpha_v = 0,5 \dots \text{pro šrouby 5.8}$$

$$F_{v,Rd} \cdot 4 \text{ šrouby} = 16,86 \cdot 4 = 67,44 \text{ kN} \geq N_{||} = 22,17 \text{ kN}$$

→ **Vyhovuje**

Posouzení únosnosti plechu v otláčení

$$a_b = \min \left[\begin{array}{c} 1,0 \\ \frac{f_{u,b}}{f_u} \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 1,0 \\ \frac{500}{360} \\ \frac{100}{3 \cdot 14} \\ \frac{225}{3 \cdot 14} - \frac{1}{4} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 1,0 \\ 1,39 \\ 2,38 \\ 5,11 \end{array} \right]$$

$$k_1 = \min \left[\begin{array}{c} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{40}{14} - 1,7 \\ 1,4 \cdot \frac{60}{14} - 1,7 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 2,5 \\ 6,3 \\ 4,3 \end{array} \right]$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 360 \cdot 10^6 \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 69,12 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 69,12 \text{ kN} \geq N_{||} = 22,17 \text{ kN}$$

→ **Vyhovuje**

Únosnost svorníku v tahu

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 600 \cdot 84,3}{1,25} = 36,42 \text{ kN (1 šroub)}$$

$k_2 = 0,9$... pro nezapuštěné šrouby

$$F_{t,Rd} \cdot 4 \text{ šrouby} = 36,42 \cdot 4 = 145,68 \text{ kN} \geq 2 \cdot N_t = 2 \cdot 27,38 = 54,76 \text{ kN}$$

→ **Vyhovuje**

Kombinace stříhu a tahu

$$\frac{N_{||}}{F_{v,Rd}} + \frac{2 \cdot N_t}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{22,17}{67,44} + \frac{2 \cdot 27,38}{1,4 \cdot 145,68} \leq 1$$

$$0,60 \leq 1$$

→ **Vyhovuje**

B) NÁVRH SVORNÍKU A STYČNÍKOVÉHO PLECHU PRO PŘÍPOJ TÁHLA

Svorník pro přípoj táhla je navržený výrobcem táhel Macalloy 460. Táhllo se závitem M12 je navrženo a posouzeno, aby přeneslo danou normálovou sílu, která v táhle působí. K táhlu je od výrobce tedy navržen i styčnickový plech tloušťky 10 mm, koncovka a svorník o průměru 12 mm. Tyto prvky tedy přenesou sílu působící na táhllo.

NÁVRH SVORNÍKU: dle výrobce táhla Macalloy 460 M12 (Tension Systems)

koncovka FA12

svorník o průměru $d = 12 \text{ mm}$

mez kluzu $f_y = 460 \text{ MPa}$

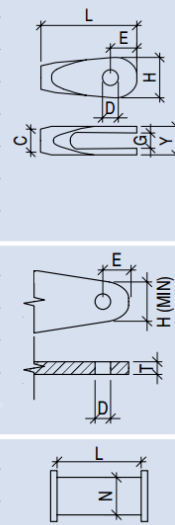
NÁVRH PLECHU:

tloušťka plechu $t_p = 10 \text{ mm}$

mez kluzu $f_y = 460 \text{ MPa}$

Tab. 10: Rozměry příslušenství daných táhel od firmy Macalloy [27]

Závít	Jednotka	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100
Koncovka		FA10	FA12	FA16	FA20	FA24	FA30	FA36	FA42	FA48	FA56	FA64	FA76	FA85	FA90	FA100
L	mm	63	75	99	122	148	178	204	232	266	314	348	410	459	489	555
G (min)	mm	11	12	15	19	24	26	34	39	44	49	59	76	78	86	91
C Dia.	mm	17	19	25	29	35	44	52	60	69	80	91	108	121	129	143
D Dia.	mm	11,5	13	17	21,4	25,5	31,5	37,5	43,5	49,5	57,5	65,5	78,5	91,5	96,5	111,5
E	mm	18	22	29	34	42	53	61	70	81	97	111	132	153	162	188
Y	mm	20	22	28	37	44	50	64	75	87	97	115	146	154	169	174
H	mm	30	34	45	53	64	81	94	109	123	147	169	201	236	248	289
Stýčnickový plech A*		GPA10	GPA12	GPA16	GPA20	GPA24	GPA30	GPA36	GPA42	GPA48	GPA56	GPA64	GPA76	GPA85	GPA90	GPA100
T (tloušťka mat.)	mm	10	10	12	15	20	22	30	35	40	45	55	70	70	80	85
D	mm	11,5	13	17	21,5	25,5	31,5	37,5	43,5	49,5	57,5	65,5	78,5	91,5	96,5	111,5
E	mm	18	22	29	34	42	53	62	71	81	97	111	132	153	162	189
H (min)	mm	30	34	45	53	63	81	95	109	123	147	169	201	236	248	289
Čep		PA10	PA12	PA16	PA20	PA24	PA30	PA36	PA42	PA48	PA56	PA64	PA76	PA85	PA90	PA100
N Dia.	mm	10,5	12	16	20	24	29	35	41	47	55	63	76	90	93	108
L	mm	22	24	30	39	46	52	66	78	91	100	120	151	155	175	180



C) NÁVRH A POSOUZENÍ KOUTOVÉHO SVARU T PRŮŘEZU

NÁVRH SVARU:	účinná výška svaru	$a = 3 \text{ mm}$
	účinná délka svaru	$l = 430 \text{ mm}$
	tloušťka svařovaných plechů	$t_p = 10 \text{ mm}$
	ocel S235	$f_u = 360 \text{ MPa}$

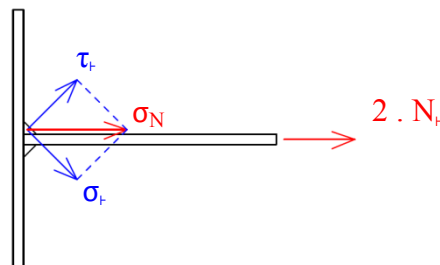
Průřezová plocha svaru $A_w = 2 \cdot l \cdot a = 2 \cdot 430 \cdot 3 = 2580,00 \text{ mm}^2$

Složky napětí

$$\tau_{||} = \frac{N_{||}}{A_w} = \frac{22,17 \cdot 10^3}{2580} = 8,59 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{N_t} = \frac{2 \cdot N_t}{A_w} = \frac{2 \cdot 27,38 \cdot 10^3}{2580} = 21,22 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{I_t} = \tau_{I_t} = \frac{\sigma_{N_t}}{\sqrt{2}} = \frac{21,22}{\sqrt{2}} = 15,00 \text{ MPa}$$



Posouzení svaru

$$\sigma_{I_t} = 15,00 \text{ MPa}$$

$$\leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

$$\sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot (\tau_t^2 + \tau_{||}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{15,00^2 + 3 \cdot (15,00^2 + 8,59^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$33,49 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa}$$

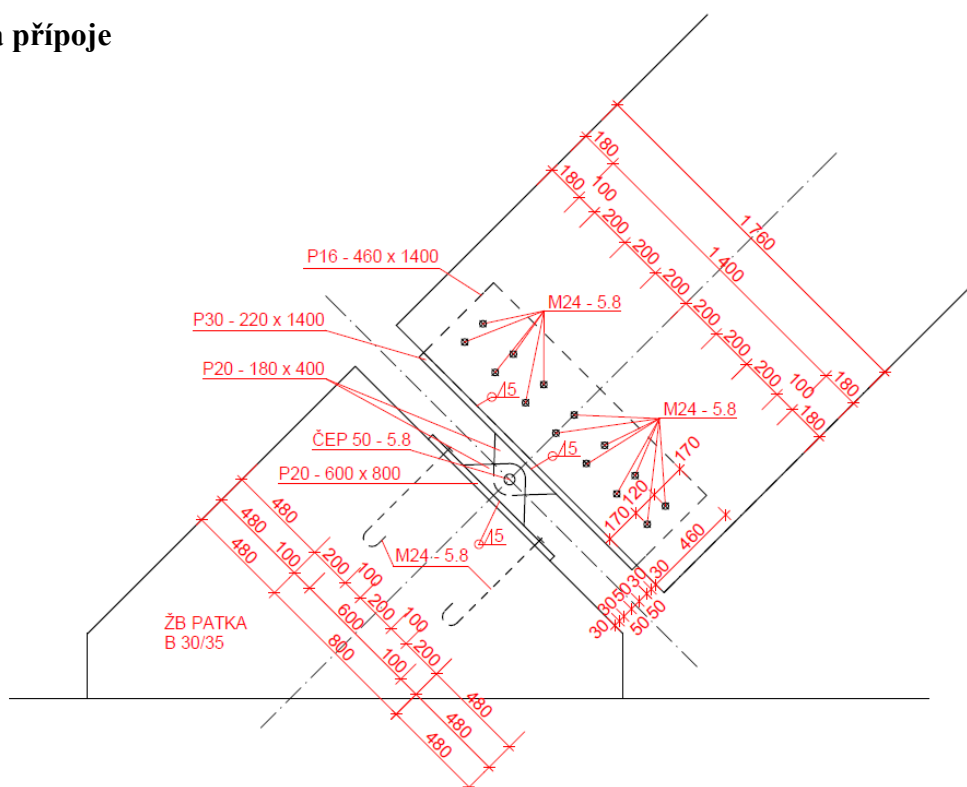
→ Vyhovuje

7.9.5.3 PŘÍPOJ A ULOŽENÍ VAZNÍKU NA ŽELEZOBETONOVOU DESKU

Předmětem posudku je neposuvný kloubový přípoj vazníku na ŽB základovou patku. Hlavní vazník je na železobetonovou patku kotvený pomocí čepového ložiska. Vazník je k ložisku kotvený 14 svorníky třídy pevnosti 5.8 o průměru 24 mm pomocí vloženého styčnickového ocelového plechu z oceli S 355 tloušťky 16 mm. Tlaková síla nosníku je přenášena čelní deskou z oceli S 355 tloušťky 30 mm. Navržený čep je třídy pevnosti 5.8 o průměru 60 mm. Tloušťka čepových plechů je navržena na 20 mm. Čepové ložisko je kotveno k ŽB patce pomocí patního plechu o tloušťce 20 mm a čtyř kotevních šroubů třídy pevnosti 5.8 a průměru 24 mm. Veškeré plechy jsou k sobě navzájem přivařeny koutovými svary. Čepové ložisko je navrhováno na tlakovou a smykovou sílu od hlavního vazníku.

Přesný detail přípoje je přiložený v projektové dokumentaci.

Schéma přípoje



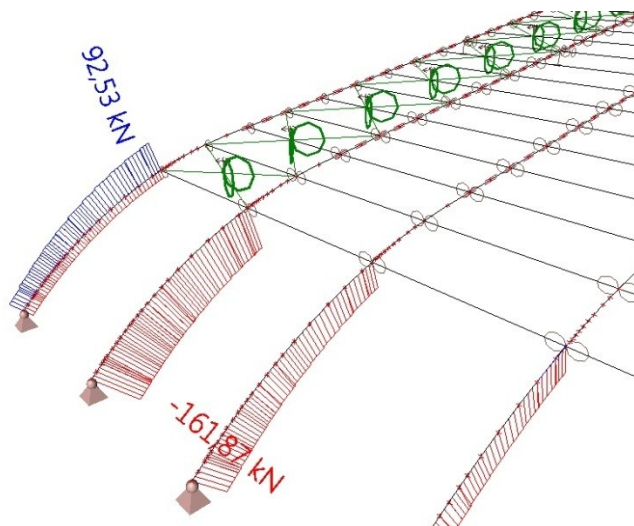
Vnitřní síly působící na přípoj

Pro výpočet je uvažována nejnepříznivější maximální hodnota vnitřních sil. Hodnoty jsou z výpočetního programu Scia Engineer. Vykreslení jednotlivých vnitřních sil působících na přípoj je přiloženo v příloze č.9.

VNITŘNÍ SÍLA	HODNOTA
N_d	- 161,87 kN
$V_{z,d}$	- 107,59 kN

Vnitřní síly z výpočetního programu Scia Engineer

Normálová síla N_d



A) NÁVRH A POSUDEK ČELNÍ DESKY A OTLAČENÍ DŘEVA OD ČELNÍ DESKY

NÁVRH ČELNÍ DESKY:

ocel S 355

$f_u = 510 \text{ MPa}$, $f_y = 355 \text{ MPa}$

tloušťka čelní desky $t_d = 30 \text{ mm}$

výška čelní desky $h_d = 1400 \text{ mm}$

šířka čelní desky $b_d = 220 \text{ mm}$

Plocha otlačení

$$A_d = b_d \cdot h_d = 220 \cdot 1400 = 308\,000 \text{ mm}^2 = 0,308 \text{ m}^2$$

Napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_d} = \frac{160,38}{0,308} = 0,521 \text{ MPa} \leq f_{c,0,d} = 13,44 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

Posudek čelní desky na napětí v ohybu

Ohybový moment

$$t_1 = (b - t_p) / 2 = (220 - 16) / 2 = 102 \text{ mm} \quad \dots \text{tloušťka poloviny dřevěného nosníku}$$

$$t_p = 16 \text{ mm} \quad \dots \text{navržená tloušťka vloženého styčnickového plechu}$$

$$M_y = \frac{N_d}{2} \cdot \left(\frac{t_p}{2} + \frac{t_1}{2} \right) = \frac{160,38}{2} \cdot \left(\frac{16}{2} + \frac{102}{2} \right) = 4,73 \text{ kNm}$$

Průřezový modul

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b_d \cdot h_d^2 = \frac{1}{6} \cdot 110 \cdot 30^2 = 16500 \text{ mm}^3$$

Napětí v ohybu

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{4,73 \cdot 10^3}{16500 \cdot 10^{-9}} = 286,67 \text{ MPa} \leq f_y = 355 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

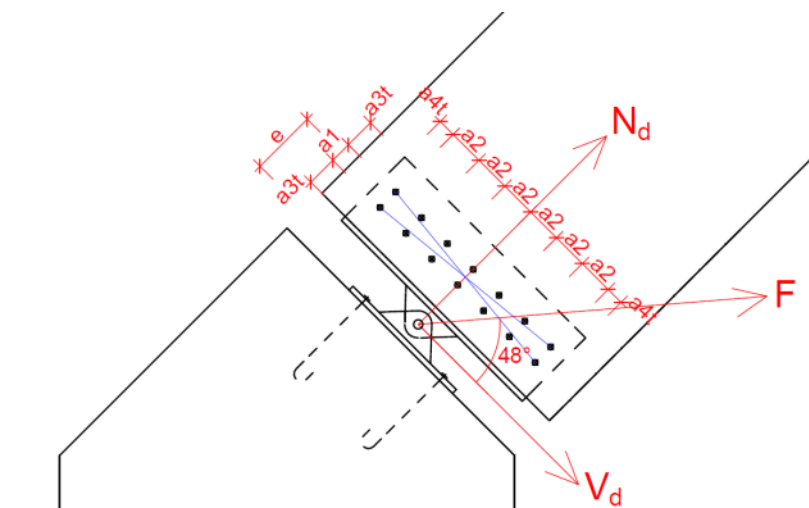
B) NÁVRH A POSUDEK SVORNÍKOVÉHO SPOJE

NÁVRH SVORNÍKU:	třída pevnosti 5.8	$f_{ub} = 500 \text{ MPa}, f_{yb} = 400 \text{ MPa}$
	průměr šroubu	$d = 24 \text{ mm}$
	průřezová plocha šroubu	$A_s = 353 \text{ mm}^2$
	navržený počet šroubů	$n = 14$
	průměr otvoru pro šroub	$d_0 = 26 \text{ mm}$
	osové vzdálenosti šroubů	$a_1 = 120 \text{ mm}$
		$a_2 = 200 \text{ mm}$
		$a_{3,t} = 170 \text{ mm}$
		$a_{4,t} = 100 \text{ mm}$
	součinitel bezpečnosti	$\gamma_{M2} = 1,25$

NÁVRH STYČNÍKOVÉHO PLECHU: ocel S 355 $f_u = 510 \text{ MPa}, f_y = 355 \text{ MPa}$

tloušťka plechu	$t_p = 16 \text{ mm}$
výška plechu	$h_p = 1400 \text{ mm}$
šířka plechu	$b_p = 380 \text{ mm}$

Obrázek vzdáleností + excentricita



Působící excentricita $e = 50/2 + 50 + 30 + 30 + 170 + 120/2 = 365 \text{ mm}$

Osově vzdálenosti svorníků

$$a_1 = (4 + \cos\alpha) \cdot d = (4 + \cos 90^\circ) \cdot 24 = 96 \quad \rightarrow \text{návrh} = 120 \text{ mm}$$

$$a_2 = 4 \cdot d = 4 \cdot 24 = 96 \quad \rightarrow \text{návrh} = 200 \text{ mm}$$

$$a_{3,t} = \max(7 \cdot d = 168 \text{ mm}; 80 \text{ mm}) \quad \rightarrow \text{návrh} = 170 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = \max[(2 + 2 \cdot \sin 0^\circ) \cdot d = 96; 3 \cdot d = 72] \quad \rightarrow \text{návrh} = 100 \text{ mm}$$

Zatížení jednoho svorníku

$$F_V = \frac{V_d}{n} = \frac{107,59}{14} = 7,69 \text{ kN}$$

$$V_d \cdot e = 4 \cdot F_M \cdot r_1 + 4 \cdot F_M \cdot r_2 + 4 \cdot F_M \cdot r_3 + 2 \cdot F_M \cdot r_4$$

$$\rightarrow F_M = \frac{V_d \cdot e}{4 \cdot r_1 + 4 \cdot r_2 + 4 \cdot r_3 + 2 \cdot r_4} = \frac{107,59 \cdot 365}{4 \cdot 603 + 4 \cdot 404 + 4 \cdot 209 + 2 \cdot 60} = 7,88 \text{ kN}$$

$$F_{V,Ed} = \sqrt{F_V^2 + F_M^2} = \sqrt{7,69^2 + 7,88^2} = 11,01 \text{ kN}$$

Charakteristická pevnost v otlacení ve dřevěném prvku – předvrtané otvory

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 24) \cdot 380 = 23,68 \text{ MPa}$$

$\rho_k = 380 \text{ kN/m}^3$... hustota dřevěného prvku

$$k_{90} = 1,30 + 0,015 \cdot d = 1,30 + 0,015 \cdot 24 = 1,66$$

$\alpha = 49^\circ$... sklon k vláknům od výsledné síly na svorník $F_{v,Ed}$

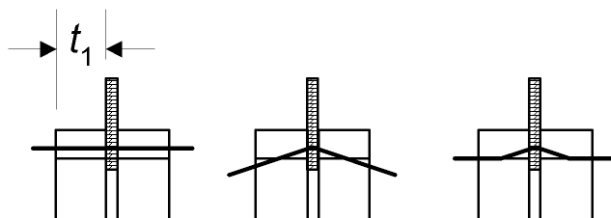
$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{23,68}{1,66 \cdot \sin^2 48^\circ \cdot \cos^2 48^\circ} = 17,35 \text{ MPa}$$

Charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{ub} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 500 \cdot 24^{2,6} = 581622 \text{ Nmm}$$

Charakteristická únosnost jednoho spojovacího prostředku

tloušťka dřevěného prvku: $t_1 = (220 - t_p)/2 = (220 - 16)/2 = 102 \text{ mm}$



→ Pro ocelovou desku libovolné tl. jako střední prvek dvojstřížného spoje

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,\alpha,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d} \\ f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \end{array} \right\}$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 17,35 \cdot 102 \cdot 24 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 581622}{17,35 \cdot 24 \cdot 102^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{581622 \cdot 17,35 \cdot 24} \\ 17,35 \cdot 102 \cdot 24 \end{array} \right\}$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 42,48 \text{ kN} \\ 25,18 \text{ kN} \\ 35,80 \text{ kN} \end{array} \right\}$$

$$F_{v,Rk} = 25,18 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{25,18}{1,25} = 14,10 \text{ kN}$$

Účinný počet svorníků v řadě rovnoběžně s vlákny

$$n_{\text{ef}} = \min \left[\begin{array}{c} n \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 2 \\ 2^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{120}{13 \cdot 24}} = 1,47 \end{array} \right]$$

$$n_{\text{ef},0^\circ} = 1,47 \quad \rightarrow \text{pro 7 řad} \quad n_{\text{ef},0^\circ} = 7 \cdot 2 = 10,29$$

$$n_{\text{ef},90^\circ} = n = 14$$

$$n_{\text{ef},49^\circ} = 12,03 \quad \rightarrow \text{interpolace mezi } n_{\text{ef},90^\circ} \text{ a } n_{\text{ef},0^\circ}$$

Posouzení únosnosti svorníků

$$F_{v,\text{Ed}} \cdot n = 11,01 \cdot 14 = 154,14 \text{ kN} \leq F_{v,\text{Rd}} \cdot n_{\text{ef}} = 14,10 \cdot 12,03 = 169,62 \text{ kN}$$

→ **Vyhovuje**

Únosnost svorníku ve střihu

$$F_{v,\text{Rd}} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 500 \cdot 353}{1,25} = 70,60 \text{ kN (1 šroub)}$$

$$\alpha_v = 0,5 \dots \text{pro šrouby 5.8}$$

$$F_{v,\text{Rd}} = 70,60 \text{ kN} \geq F_{v,\text{Ed}} = 11,01 \text{ kN}$$

→ **Vyhovuje**

Posouzení únosnosti styčnickového plechu v otláčení

$$a_b = \min \left[\begin{array}{c} 1,0 \\ \frac{f_{u,b}}{f_u} \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 1,0 \\ \frac{500}{510} \\ \frac{100}{3 \cdot 26} \\ \frac{200}{3 \cdot 26} - \frac{1}{4} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 1,0 \\ 0,98 \\ 1,28 \\ 2,31 \end{array} \right] = 0,98$$

$$k_1 = \min \left[\begin{array}{c} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{170}{26} - 1,7 \\ 1,4 \cdot \frac{120}{26} - 1,7 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 2,5 \\ 16,61 \\ 4,76 \end{array} \right] = 2,5$$

$$F_{b,\text{Rd}} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,98 \cdot 510 \cdot 10^6 \cdot 24 \cdot 10^{-3} \cdot 16 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 383,85 \text{ kN}$$

$$F_{b,\text{Rd}} = 383,85 \text{ kN} \geq F_{v,\text{Ed}} = 11,01 \text{ kN}$$

→ **Vyhovuje**

C) NÁVRH A POSUDEK KOUTOVÉHO SVARU PŘÍPOJE ČELNÍ DESKY SE STYČNÍKOVÝM PLECHEM

NÁVRH SVARU:	účinná výška svaru	$a = 5 \text{ mm}$
	účinná délka svaru	$l = 750 \text{ mm}$
	tloušťka čelní desky	$t_d = 30 \text{ mm}$
	tloušťka styčnickového plechu	$t_p = 16 \text{ mm}$
	ocel S355	$f_u = 510 \text{ MPa}$

Působící excentricita $e = 50/2 + 50 + 30 + 30 = 135 \text{ mm}$

Průřezová plocha svaru $A_w = 2 \cdot l \cdot a = 2 \cdot 750 \cdot 5 = 7500 \text{ mm}^2$

Složky napětí

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_d}{A_w} = \frac{107,59 \cdot 10^3}{7500} = 14,35 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{V_d \cdot e}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2} + \frac{N_d}{A_w} = \frac{107,59 \cdot 10^3 \cdot 0,135}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 0,005 \cdot 0,750^2} + \frac{161,87 \cdot 10^3}{7500 \cdot 10^{-6}} = 15,49 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{15,49}{\sqrt{2}} = 10,95 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru

$$\sigma_{\perp} = 10,95 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{510}{1,25} = 408 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{10,95^2 + 3 \cdot (10,95^2 + 14,35^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$33,13 \text{ MPa} \leq 453 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

D) NÁVRH A POSUDEK ČEPOVÉHO LOŽISKA

NÁVRH ČEPU:	třída pevnosti	5.8
	pevnosti čepu	$f_{up} = 500 \text{ MPa}, f_{yp} = 400 \text{ MPa}$
	součinitel bezpečnosti	$\gamma_{M0} = 1,0; \gamma_{M2} = 1,25$

NÁVRH ČEPOVÝCH PLECHŮ: ocel S355 $f_u = 510 \text{ MPa}$, $f_y = 355 \text{ MPa}$

Působící síla na čep

$$F_{v,Ed} = \sqrt{N_d^2 + V_d^2} = \sqrt{161,87^2 + 107,59^2} = 194,36 \text{ kN}$$

Návrh tloušťky plechu

$$t_{p,1} \geq 0,7 \cdot \sqrt{\frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{194,36 \cdot 1,0}{355 \cdot 10^3}} = 16,38 \text{ mm} \rightarrow \text{návrh } t_{p,1} = 20 \text{ mm}$$

$$t_{p,2} = 2 \cdot t_{p,1} = 2 \cdot 20 \text{ mm}$$

Vzdálenost mezi plechy

$$t_{p,3} = 2 \text{ mm}$$

Návrh průměru čepu

$$d_0 \leq 2,5 \cdot t_{p,1} = 2,5 \cdot 20 = 50 \text{ mm} \rightarrow \text{návrh } d_0 = 50 \text{ mm}$$

Geometrie průřezu

$$a \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{194,36 \cdot 1,0}{2 \cdot 0,020 \cdot 355 \cdot 10^3} + \frac{2 \cdot 0,050}{3} = 47 \text{ mm} \rightarrow \text{návrh } a = 50 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{194,36 \cdot 1,0}{2 \cdot 0,020 \cdot 355 \cdot 10^3} + \frac{0,050}{3} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{návrh } c = 35 \text{ mm}$$

Plocha průřezu

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 50^2}{4} = 1963,50 \text{ mm}^2$$

Únosnost čepu ve stříhu

$$F_{v,Rd} = 0,6 \cdot \frac{A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = 0,6 \cdot \frac{1963,50 \cdot 10^{-6} \cdot 500 \cdot 10^3}{1,25} = 471,36 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 194,36 \text{ kN}$$

→ **Vyhovuje**

Únosnost čepu a plechu v otláčení

$$F_{b,Rd} = 1,5 \cdot t_1 \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 0,020 \cdot 0,050 \cdot \frac{355 \cdot 10^3}{1,0} = 532,50 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 532,50 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 194,36 \text{ kN}$$

→ **Vyhovuje**

$$F_{b,Rd} = 1,5 \cdot 2 \cdot t_2 \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 2 \cdot 0,020 \cdot 0,050 \cdot \frac{355 \cdot 10^3}{1,0} = 1065,00 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 1065,00 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 194,36 \text{ kN}$$

→ **Vyhovuje**

Únosnost čepu v ohybu

$$W_0 = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 50^3}{32} = 12271,85 \text{ mm}^3$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{v,Ed}}{8} \cdot (t_1 + 2 \cdot t_2 + 4 \cdot t_3) \leq M_{Rd} = 1,5 \cdot W_0 \cdot \frac{f_{yp}}{\gamma_{Mo}}$$

$$M_{Ed} = \frac{194,36}{8} \cdot (0,020 + 2 \cdot 0,020 + 4 \cdot 0,002) \leq M_{Rd} = 1,5 \cdot 12271,85 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{400 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$1,65 \text{ kNm} \leq 7,36 \text{ kNm}$$

→ Vyhovuje

Únosnost čepu při kombinaci střihu a ohybu

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1$$

$$\left(\frac{1,65}{7,36}\right)^2 + \left(\frac{194,36}{471,36}\right)^2 \leq 1$$

$$0,22 \leq 1$$

→ Vyhovuje

E) NÁVRH A POSUDEK KOUTOVÉHO SVARU PŘÍPOJE ČEPOVÉHO PLECHU t_1 K ČELNÍ DESCE

NÁVRH SVARU: účinná výška svaru

$$a = 5 \text{ mm}$$

účinná délka svaru

$$l = 400 \text{ mm} \geq 6 \cdot a = 6 \cdot 5 = 30 \text{ mm}$$

$$\geq 30 \text{ mm}$$

tloušťka čelní desky

$$t_d = 30 \text{ mm}$$

tloušťka čepového plechu

$$t_1 = 20 \text{ mm}$$

ocel S355

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

Působící excentricita $e = 50/2 \cdot 50 + 30 = 105 \text{ mm}$

Průřezová plocha svaru $A_w = 2 \cdot l \cdot a = 2 \cdot 400 \cdot 5 = 4000,00 \text{ mm}^2$

Složky napětí

$$\tau_{||} = \frac{V_d}{A_w} = \frac{107,59 \cdot 10^3}{4000,00} = 26,90 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{V_d \cdot e}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2} + \frac{N_d}{A_w} = \frac{107,59 \cdot 10^3 \cdot 0,105}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 0,005 \cdot 0,400^2} + \frac{161,87 \cdot 10^3}{4000,00} = 42,36 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{42,36}{\sqrt{2}} = 29,95 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru

$$\sigma_{\perp} = 29,95 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{510}{1,25} = 408 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{29,95^2 + 3 \cdot (29,95^2 + 26,90^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$75,87 \text{ MPa} \leq 453 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

F) NÁVRH A POSUDEK KOUTOVÉHO SVARU PŘÍPOJE ČEPOVÝCH PLECHŮ t_2 K PATNÍMU PLECHU

NÁVRH SVARU:	účinná výška svaru	$a = 5 \text{ mm}$
	účinná délka svaru	$l = 400 \text{ mm} \geq 6 \cdot a = 6 \cdot 4 = 24 \text{ mm}$ $\geq 30 \text{ mm}$
	tloušťka patního plechu	$t_{pp} = 30 \text{ mm}$
	tloušťka čepového plechu	$t_2 = 20 \text{ mm}$
	ocel S355	$f_u = 510 \text{ MPa}$

Působící excentricita $e = 50/2 + 50 + 30 = 105 \text{ mm}$

Průřezová plocha svaru $A_w = 2 \cdot l \cdot a = 2 \cdot 400 \cdot 5 = 4000 \text{ mm}^2$

Posouvající a normálová síla vznikající ve svaru jednoho čepového plechu t_2

$$V_{d,n} = \frac{V_d}{2} = \frac{107,59}{2} = 53,80 \text{ kN}$$

$$N_{d,n} = \frac{N_d}{2} = \frac{161,87}{2} = 80,94 \text{ kN}$$

Složky napětí

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{d,n}}{A_w} = \frac{53,80 \cdot 10^3}{4000,00} = 13,45 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{V_{d,n} \cdot e}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2} + \frac{N_d}{A_w} = \frac{53,80 \cdot 10^3 \cdot 0,105}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 0,005 \cdot 0,400^2} + \frac{80,94 \cdot 10^3}{4000,00} = 21,18 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{I}} = \tau_{\text{I}} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{21,18}{\sqrt{2}} = 14,98 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru

$$\sigma_{\text{I}} = 14,98 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{510}{1,25} = 408 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

$$\sqrt{\sigma_{\text{I}}^2 + 3 \cdot (\tau_{\text{I}}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{14,98^2 + 3 \cdot (14,98^2 + 13,45^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$37,95 \text{ MPa} \leq 453 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

G) NÁVRH A POSUDEK KOTEVNÍCH ŠROUBŮ ŽB ZÁKLADOVÉ PATKY

NÁVRH ŠROUBŮ: třída pevnosti 5.8

$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$, $f_{yb} = 400 \text{ MPa}$

průměr šroubu

$d = 24 \text{ mm}$

průřezová plocha šroubu

$A_s = 353 \text{ mm}^2$

navržený počet šroubů

$n = 4$

osové vzdálenosti šroubů

$e_1 = 100 \text{ mm}$

$e_2 = 100 \text{ mm}$

$p_1 = 600 \text{ mm}$

$p_2 = 400 \text{ mm}$

součinitel bezpečnosti

$\gamma_{M2} = 1,25$

$\gamma_{M0} = 1,0$

Zatížení jednoho šroubu

$$F_{v,Ed} = \frac{V_d}{n} = \frac{107,59}{4} = 26,90 \text{ kN}$$

Posudek šroubu na střih

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 353 \cdot 500}{1,0} = 70,60 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 26,90 \text{ kN}$$

$$\alpha_v = 0,5 \dots \text{pro šrouby 5.8}$$

→ **Vyhovuje**

Posouzení únosnosti patního plechu v otláčení

$$a_b = \min \left[\begin{array}{c} 1,0 \\ \frac{f_{u,b}}{f_u} \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 1,0 \\ \frac{500}{510} \\ \frac{100}{3 \cdot 26} \\ \frac{600}{3 \cdot 26} - \frac{1}{4} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 1,0 \\ 0,98 \\ 1,28 \\ 7,44 \end{array} \right] = 0,98$$

$$k_1 = \min \left[\begin{array}{c} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{100}{26} - 1,7 \\ 1,4 \cdot \frac{400}{26} - 1,7 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 2,5 \\ 9,07 \\ 19,84 \end{array} \right] = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,98 \cdot 510 \cdot 10^6 \cdot 24 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 479,81 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 479,81 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 28,12 \text{ kN}$$

→ **Vyhovuje**

Posouzení únosnosti šroubu v tahu

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,9 \cdot 353 \cdot 500}{1,0} = 158,850 \text{ kN}$$

$$k_2 = 0,63 \dots \text{pro zapuštěné šrouby}$$

$$F_{t,Rd} \cdot 4 = 158,850 \cdot 4 = 635,40 \text{ kN} \geq N_d = 26,90 \text{ kN}$$

→ **Vyhovuje**

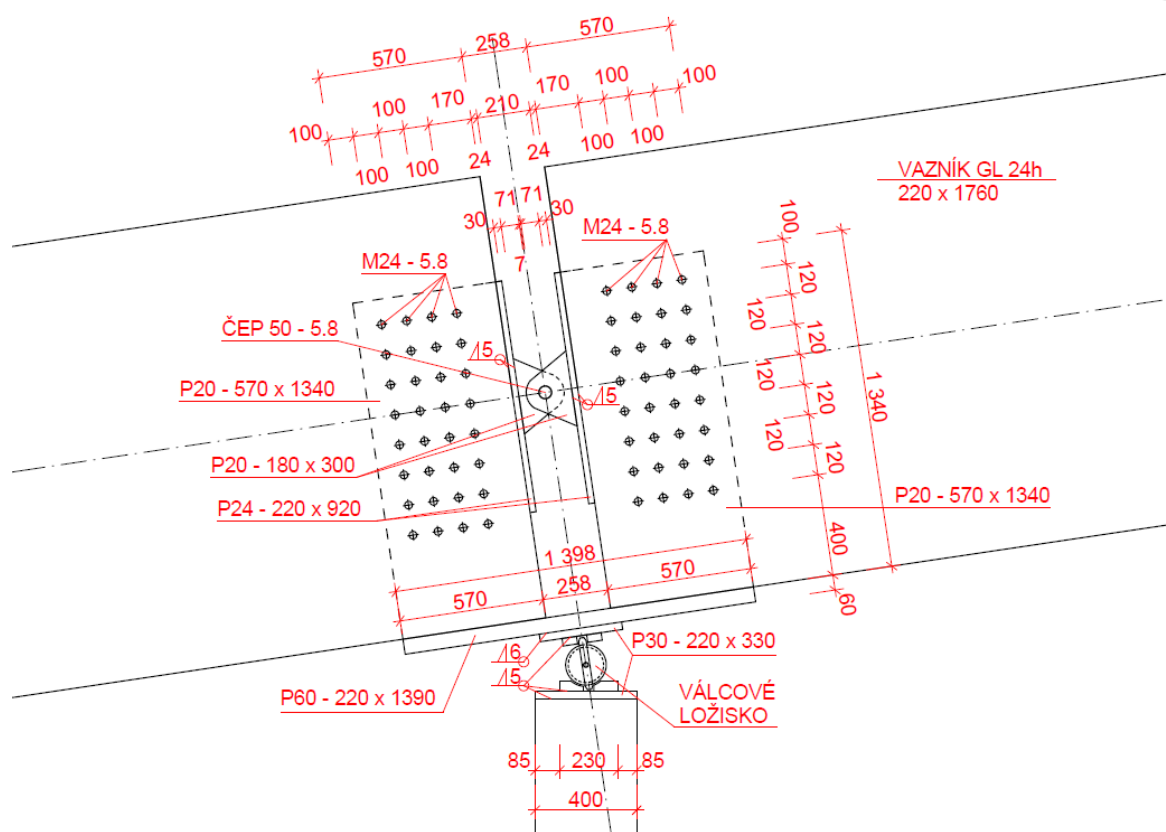
7.9.5.4 VZÁJEMNÝ PŘÍPOJ OBOU VAZNÍKŮ A JEJICH ULOŽENÍ NA ŽB STĚNU

Předmětem posudku je vzájemný kloubový přípoj obou vazníků a současně jejich posuvné uložení na žb nosnou stěnu. Hlavní vazníky jsou kloubově spojeny nad prostřední nosnou stěnou haly. Do vazníků je vložený ocelový styčnickový plech z oceli S355 tl. 20 mm. Styčnickový plech je kotvený pomocí 32 svorníků o třídě pevnosti 5.8 s průměrem 24 mm. Na styčnickový plech je koutovým svarem přivařena čelní deska z oceli S355 o tl. 26 mm.

Na čelní desku jsou koutovými svary navařeny čepové plechy o tl. 20 mm. Kloubové spojení je zajištěno čepovým ložiskem s navrženým čepem třídy pevnosti 5.8 o průměru 50 mm. Čepové ložisko je navrženo na převládající normálovou a smykovou sílu hlavního vazníku. Posuvné uložení zajišťuje válcové ložisko připevněné k železobetonové nosné stěně. Posuvné válcové ložisko je zvoleno z důvodu vzniku velkých vodorovných reakcí do nosných železobetonových stěn. Uložení nosníků na válcové ložisko je zajištěno ocelovým plechem z oceli S355 tl. 60 mm. Plech je přivařený koutovým svarem na vložené styčnickové plechy. Úložní plech je posouzený na vznikající ohybový moment, umožňující natočení vazníků.

Přesný detail přípoje je přiložen v projektové dokumentaci.

Schéma přípoje



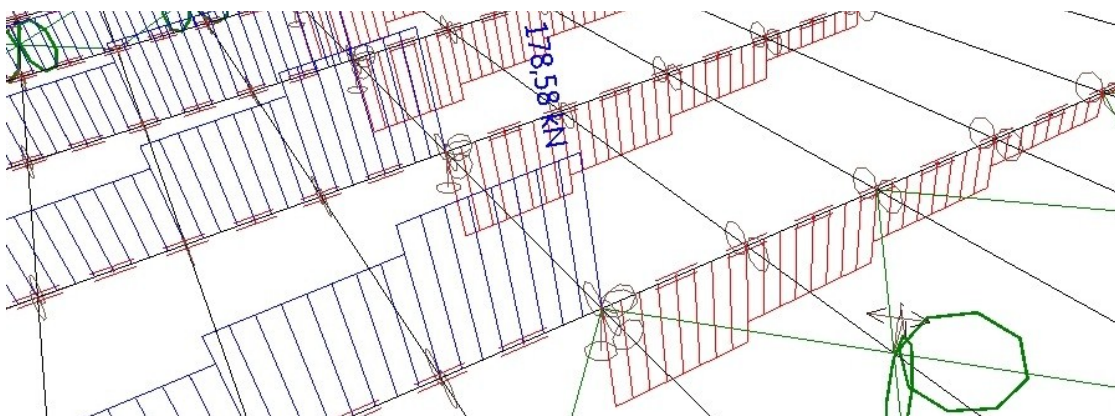
Vnitřní síly působící na přípoj

Pro výpočet je uvažována nejnejpříznivější maximální hodnota vnitřních sil. Hodnoty jsou z výpočetního programu Scia Engineer. Vykreslení jednotlivých vnitřních sil působících na přípoj je přiloženo v příloze č.10.

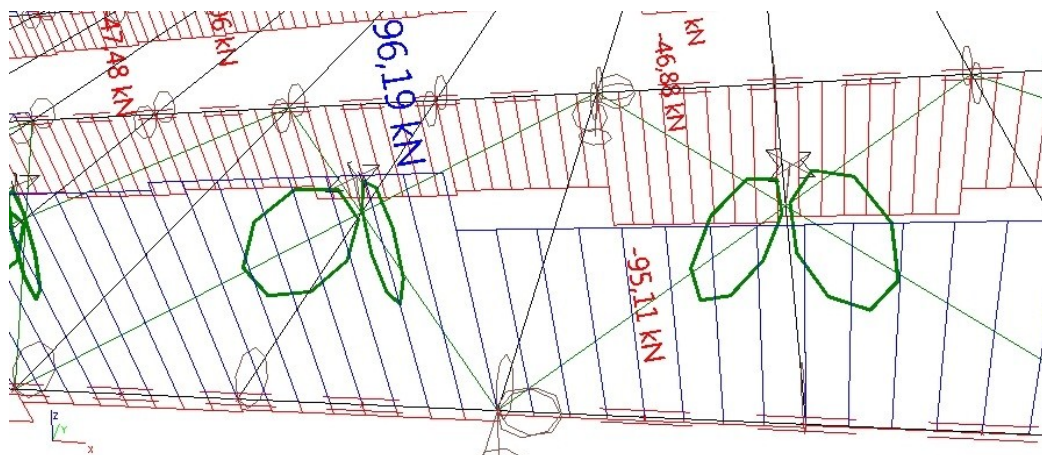
VNITŘNÍ SÍLA	HODNOTA
$N_{c,d}$	- 95,11 kN
$N_{t,d}$	+ 96,19 kN
$V_{z,d}$	+ 178,58 kN

Vnitřní síly z výpočetního programu Scia Engineer

Posouvající síla $V_{z,d}$



Maximální tlaková síla $N_{c,d}$ a maximální tahová síla $N_{t,d}$



A) NÁVRH A POSUDEK ČELNÍ DESKY A OTLAČENÍ DŘEVA OD ČELNÍ DESKY

NÁVRH ČELNÍ DESKY: ocel S 355 $f_u = 510 \text{ MPa}$, $f_y = 355 \text{ MPa}$
 tloušťka čelní desky $t_d = 24 \text{ mm}$
 výška čelní desky $h_d = 920 \text{ mm}$
 šířka čelní desky $b_d = 220 \text{ mm}$

Plocha otlačení

$$A_d = b_d \cdot h_d = 220 \cdot 920 = 202\,400 \text{ mm}^2 = 0,202 \text{ m}^2$$

Napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A_d} = \frac{95,11}{0,202} = 0,47 \text{ MPa} \leq f_{c,0,d} = 13,44 \text{ MPa}$$

→ **Vyhoví**

Posudek čelní desky na napětí v ohybu

Ohybový moment

$$t_1 = (b - t_p) / 2 = (220 - 20) / 2 = 100 \text{ mm} \quad \dots \text{tloušťka poloviny dřevěného nosníku}$$

$$t_p = 20 \text{ mm} \quad \dots \text{navržená tloušťka vloženého styčnickového plechu}$$

$$M_y = \frac{N_{c,d}}{2} \cdot \left(\frac{t_p}{2} + \frac{t_1}{2} \right) = \frac{95,11}{2} \cdot \left(\frac{20}{2} + \frac{100}{2} \right) = 2,85 \text{ kNm}$$

Průřezový modul

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b_d \cdot h_d^2 = \frac{1}{6} \cdot 110 \cdot 24^2 = 10560,00 \text{ mm}^3$$

Napětí v ohybu

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{2,85 \cdot 10^3}{10560,00 \cdot 10^{-9}} = 269,89 \text{ MPa} \leq f_y = 355 \text{ MPa}$$

→ **Vyhovuje**

B) NÁVRH A POSUDEK SVORNÍKOVÉHO SPOJE

NÁVRH SVORNÍKU:	třída pevnosti 5.8	$f_{ub} = 500 \text{ MPa}, f_{yb} = 400 \text{ MPa}$
	průměr šroubu	$d = 24 \text{ mm}$
	průřezová plocha šroubu	$A_s = 353 \text{ mm}^2$
	navržený počet šroubů	$n = 32$
	průměr otvoru pro šroub	$d_0 = 26 \text{ mm}$
	osové vzdálenosti šroubů	$a_1 = 100 \text{ mm}$
		$a_2 = 120 \text{ mm}$
		$a_{3,t} = 170 \text{ mm}$

$$a_{4,t} = 100 \text{ mm}$$

součinitel bezpečnosti

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

NÁVRH STYČNÍKOVÉHO PLECHU: ocel S 235

$$f_u = 360 \text{ MPa}, f_y = 235 \text{ MPa}$$

tloušťka plechu

$$t_p = 20 \text{ mm}$$

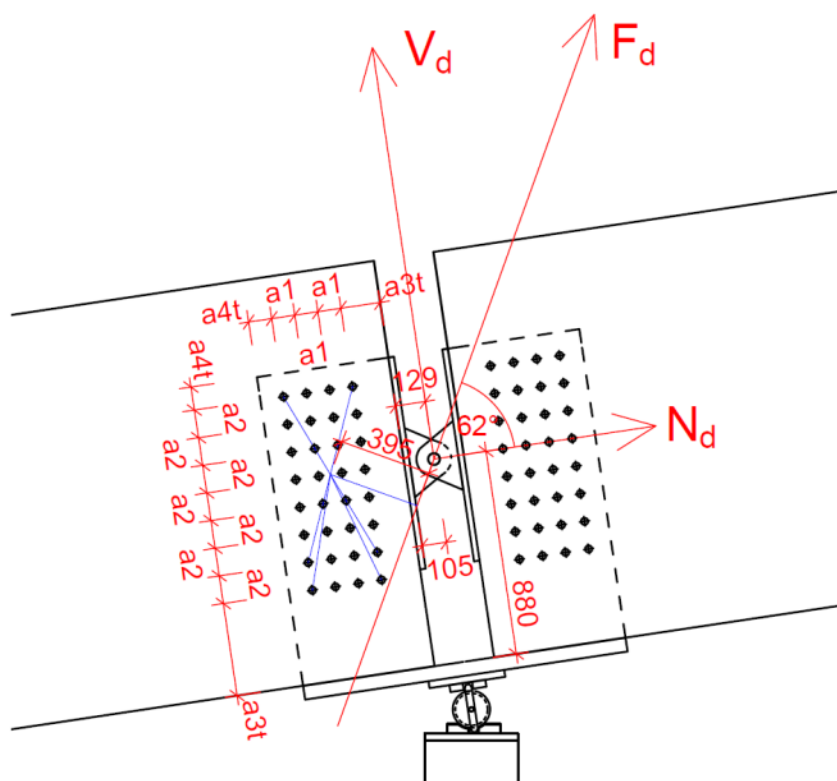
výška plechu

$$h_p = 1340 \text{ mm}$$

šířka plechu

$$b_p = 570 \text{ mm}$$

Obrázek vzdáleností + excentricita



Působící excentricita

$$e = 395 \text{ mm}$$

Osové vzdálenosti svorníků

$$a_1 = (4 + \cos\alpha) \cdot d = (4 + \cos 90^\circ) \cdot 24 = 96$$

$$\rightarrow \text{návrh} = 100 \text{ mm}$$

$$a_2 = 4 \cdot d = 4 \cdot 24 = 96$$

$$\rightarrow \text{návrh} = 120 \text{ mm}$$

$$a_{3,t} = \max(7 \cdot d = 168 \text{ mm}; 80 \text{ mm})$$

$$\rightarrow \text{návrh} = 170 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = \max[(2 + 2 \cdot \sin 0^\circ) \cdot d = 96; 3 \cdot d = 72]$$

$$\rightarrow \text{návrh} = 100 \text{ mm}$$

Výslednice působících sil

$$F_d = \sqrt{N_d^2 + V_d^2} = \sqrt{96,19^2 + 178,586^2} = 202,84 \text{ kN}$$

Zatížení jednoho svorníku

$$F_V = \frac{F_d}{n} = \frac{202,84}{32} = 6,34 \text{ kN}$$

$$F_d \cdot e = 4 \cdot F_M \cdot r_1 + 4 \cdot F_M \cdot r_2 + 4 \cdot F_M \cdot r_3 + 4 \cdot F_M \cdot r_4 + 4 \cdot F_M \cdot r_5 + 4 \cdot F_M \cdot r_6 + 2 \cdot F_M \cdot r_7 + 2 \cdot F_M \cdot r_8 + 2 \cdot F_M \cdot r_9 + 2 \cdot F_M \cdot r_{10}$$

$$\rightarrow F_M = \frac{F_d \cdot e}{4 \cdot r_1 + 4 \cdot r_2 + 4 \cdot r_3 + 4 \cdot r_4 + 4 \cdot r_5 + 4 \cdot r_6 + 2 \cdot r_7 + 2 \cdot r_8 + 2 \cdot r_9 + 2 \cdot r_{10}}$$

$$F_M = \frac{202,84 \cdot 0,395}{4 \cdot 0,39 + 4 \cdot 0,363 + 4 \cdot 0,283 + 4 \cdot 0,245 + 4 \cdot 0,192 + 4 \cdot 0,13 + 2 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,05 + 2 \cdot 0,502 + 2 \cdot 0,482}$$

$$F_M = 9,13 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_V^2 + F_M^2} = \sqrt{6,34^2 + 9,13^2} = 11,12 \text{ kN}$$

Charakteristická pevnost v otlacení ve dřevěném prvku – předvrtané otvory

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 24) \cdot 380 = 23,68 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 380 \text{ kN/m}^3 \dots \text{ hustota dřevěného prvku}$$

$$k_{90} = 1,30 + 0,015 \cdot d = 1,30 + 0,015 \cdot 24 = 1,66$$

$$\alpha = 62^\circ \dots \text{ sklon k vláknům od výsledné síly } F_d$$

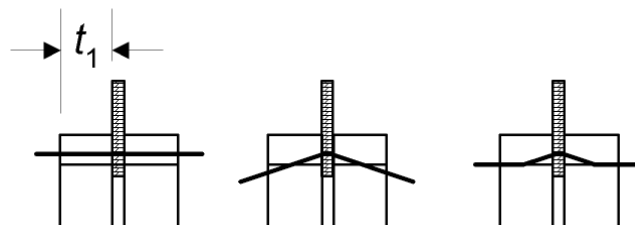
$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{23,68}{1,66 \cdot \sin^2 62 \cdot \cos^2 62} = 15,64 \text{ MPa}$$

Charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{ub} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 500 \cdot 24^{2,6} = 581622 \text{ Nmm}$$

Charakteristická únosnost jednoho spojovacího prostředku

$$\text{tloušťka dřevěného prvku} \quad t_1 = (220 - t_p)/2 = (220 - 20)/2 = 100 \text{ mm}$$



Pro ocelovou desku libovolné tl. jako střední prvek dvojstřížného spoje

$$F_{v,Rk} = \min \left[\begin{array}{l} f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,\alpha,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d} \\ f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \end{array} \right]$$

$$= \min \left[\begin{array}{l} 15,64 \cdot 100 \cdot 24 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 581622}{15,64 \cdot 24 \cdot 100^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{581622 \cdot 15,64 \cdot 24} \\ 15,64 \cdot 100 \cdot 24 \end{array} \right]$$

$$= \min \left[\begin{array}{l} 37,53 \text{ kN} \\ 23,22 \text{ kN} \\ 33,98 \text{ kN} \end{array} \right]$$

$$F_{v,Rk} = 23,22 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{23,22}{1,25} = 13,00 \text{ kN}$$

Účinný počet svorníků v řadě rovnoběžně s vlákny

$$n_{ef} = \min \left[\begin{array}{l} n \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} 4 \\ 4^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{100}{13 \cdot 24}} = 2,62 \end{array} \right]$$

$$n_{ef,0^\circ} = 2,62 \quad \rightarrow \text{pro 8 řad} \quad n_{ef,0^\circ} = 8 \cdot 2,62 = 20,96$$

$$n_{ef,90^\circ} = n = 32$$

$$n_{ef,62^\circ} = 28,57 \quad \rightarrow \text{interpolace mezi } n_{ef,90^\circ} \text{ a } n_{ef,0^\circ}$$

Posouzení únosnosti svorníků

$$F_{v,Ed} \cdot n = 11,12 \cdot 32 = 355,69 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} \cdot n_{ef} = 13,00 \cdot 28,57 = 371,41 \text{ kN}$$

→ **Vyhovuje**

Únosnost svorníku ve střihu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 500 \cdot 353}{1,25} = 70,60 \text{ kN (1 šroub)}$$

$$\alpha_v = 0,5 \dots \text{pro šrouby 5.8}$$

$$F_{v,Rd} = 70,60 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 11,12 \text{ kN}$$

→ **Vyhovuje**

Posouzení únosnosti styčnickového plechu v otláčení

$$a_b = \min \left[\begin{array}{c} 1,0 \\ \frac{f_{u,b}}{f_u} \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 1,0 \\ \frac{500}{510} \\ \frac{170}{3 \cdot 26} \\ \frac{120}{3 \cdot 26} - \frac{1}{4} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 1,0 \\ 0,98 \\ 2,18 \\ 1,29 \end{array} \right] = 0,98$$

$$k_1 = \min \left[\begin{array}{c} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{170}{26} - 1,7 \\ 1,4 \cdot \frac{100}{26} - 1,7 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 2,5 \\ 16,61 \\ 3,68 \end{array} \right] = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,98 \cdot 510 \cdot 10^6 \cdot 24 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 479,81 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 479,81 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 11,12 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

C) NÁVRH A POSUDEK KOUTOVÉHO SVARU PŘÍPOJE ČELNÍ DESKY SE STYČNÍKOVÝM PLECHEM

NÁVRH SVARU:	účinná výška svaru	$a = 5 \text{ mm}$
	účinná délka svaru	$l = 920 \text{ mm}$
	tloušťka čelní desky	$t_d = 24 \text{ mm}$
	tloušťka styčnickového plechu	$t_p = 20 \text{ mm}$
	ocel S355	$f_u = 510 \text{ MPa}$

Působící excentricita $e_1 = 129 \text{ mm}$

$e_2 = 0 \text{ mm}$

Průřezová plocha svaru $A_w = 2 \cdot l \cdot a = 2 \cdot 920 \cdot 5 = 9200,00 \text{ mm}^2$

Složky napětí

$$\tau_{||} = \frac{V_d}{A_w} = \frac{178,58 \cdot 10^3}{9200,00} = 19,41 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{V_d \cdot e_1}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2} + \frac{N_{t,d}}{A_w} = \frac{178,58 \cdot 10^3 \cdot 0,129}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 0,005 \cdot 0,920^2} + \frac{96,19 \cdot 10^3}{9200,00} = 16,33 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{16,33}{\sqrt{2}} = 11,55 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru

$$\sigma_{\perp} = 11,55 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{510}{1,25} = 408 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{11,55^2 + 3 \cdot (11,55^2 + 19,41^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$40,79 \text{ MPa} \leq 453 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

D) NÁVRH A POSUDEK ČEPOVÉHO LOŽISKA

NÁVRH ČEPU:	třída pevnosti	5.8
	pevnosti čepu	$f_{up} = 500 \text{ MPa}$, $f_{yp} = 400 \text{ MPa}$
	součinitel bezpečnosti	$\gamma_{M0} = 1,0$
		$\gamma_{M2} = 1,25$

NÁVRH ČEPOVÝCH PLECHŮ: ocel S355 $f_u = 510 \text{ MPa}$, $f_y = 355 \text{ MPa}$

Působící síla na čep

$$F_{v,Ed} = \sqrt{N_d^2 + V_d^2} = \sqrt{96,19^2 + 178,58^2} = 202,84 \text{ kN}$$

Návrh tloušťky plechu

$$t_{p,1} \geq 0,7 \cdot \sqrt{\frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{202,84 \cdot 1,0}{355 \cdot 10^3}} = 16,7 \text{ mm} \rightarrow \text{návrh } t_{p,1} = 20 \text{ mm}$$

$$t_{p,2} = 2 \cdot t_{p,1} = 2 \cdot 20 \text{ mm}$$

Vzdálenost mezi plechy

$$t_{p,3} = 2 \text{ mm}$$

Návrh průměru čepu

$$d_0 \leq 2,5 \cdot t_{p,1} = 2,5 \cdot 20 = 50 \text{ mm} \rightarrow \text{návrh } d_0 = 50 \text{ mm}$$

Geometrie průřezu

$$a \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{202,84 \cdot 1,0}{2 \cdot 0,020 \cdot 355 \cdot 10^3} + \frac{2 \cdot 0,050}{3} = 47,6 \text{ mm} \rightarrow \text{návrh } a = 50 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{202,84 \cdot 1,0}{2 \cdot 0,020 \cdot 355 \cdot 10^3} + \frac{0,050}{3} = 31,00 \text{ mm} \rightarrow \text{návrh } c = 35 \text{ mm}$$

Plocha průřezu

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 50^2}{4} = 1963,50 \text{ mm}^2$$

Únosnost čepu ve střihu

$$F_{v,Rd} = 0,6 \cdot \frac{A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = 0,6 \cdot \frac{1963,50 \cdot 10^{-6} \cdot 500 \cdot 10^3}{1,25} = 471,24 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 202,84 \text{ kN}$$

→ **Vyhovuje**

Únosnost čepu a plechu v otláčení

$$F_{b,Rd} = 1,5 \cdot t_1 \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 0,020 \cdot 0,050 \cdot \frac{355 \cdot 10^3}{1,0} = 532,50 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 532,50 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 202,84 \text{ kN}$$

→ **Vyhovuje**

$$F_{b,Rd} = 1,5 \cdot 2 \cdot t_2 \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 2 \cdot 0,020 \cdot 0,050 \cdot \frac{355 \cdot 10^3}{1,0} = 1065,00 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 1065,00 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 202,84 \text{ kN}$$

→ **Vyhovuje**

Únosnost čepu v ohybu

$$W_0 = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 50^3}{32} = 12271,85 \text{ mm}^3$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{v,Ed}}{8} \cdot (t_1 + 2 \cdot t_2 + 4 \cdot t_3) \leq M_{Rd} = 1,5 \cdot W_0 \cdot \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{Ed} = \frac{202,84}{8} \cdot (0,020 + 2 \cdot 0,020 + 4 \cdot 0,002) \leq M_{Rd} = 1,5 \cdot 12271,85 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{400 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$1,72 \text{ kNm} \leq 7,36 \text{ kNm}$$

→ **Vyhovuje**

Únosnost čepu při kombinaci střihu a ohybu

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1$$

$$\left(\frac{1,72}{7,36}\right)^2 + \left(\frac{202,84}{471,24}\right)^2 \leq 1$$

$$0,24 \leq 1$$

→ Vyhovuje

E) NÁVRH A POSUDEK KOUTOVÉHO SVARU PŘÍPOJE ČEPOVÉHO PLECHU t_1 K ČELNÍ DESCE

NÁVRH SVARU:	účinná výška svaru	$a = 5 \text{ mm}$
	účinná délka svaru	$l = 300 \text{ mm} \geq 6 \cdot a = 6 \cdot 5 = 30 \text{ mm}$
		$\geq 30 \text{ mm}$
	tloušťka čelní desky	$t_d = 24 \text{ mm}$
	tloušťka čepového plechu	$t_1 = 20 \text{ mm}$
	ocel S235	$f_u = 360 \text{ MPa}$

Působící excentricita $e_1 = 105 \text{ mm}$

$e_2 = 0 \text{ mm}$

Průřezová plocha svaru $A_w = 2 \cdot l \cdot a = 2 \cdot 300 \cdot 5 = 3000,00 \text{ mm}^2$

Složky napětí

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_d}{A_w} = \frac{178,58 \cdot 10^3}{3000,00} = 59,53 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{V_d \cdot e_1}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2} + \frac{N_{t,d}}{A_w} = \frac{178,58 \cdot 10^3 \cdot 0,105}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 0,005 \cdot 0,300^2} + \frac{96,19 \cdot 10^3}{3000,00} = 125,01 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{125,01}{\sqrt{2}} = 88,40 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru

$$\sigma_{\perp} = 88,40 \text{ MPa}$$

$$\leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{510}{1,25} = 408 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)}$$

$$\leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{88,40^2 + 3 \cdot (88,40^2 + 59,53^2)}$$

$$\leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$204,67 \text{ MPa}$$

$$\leq 453 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

F) NÁVRH A POSUDEK ÚLOŽNÍHO PLECHU

NÁVRH PLECHU:	ocel S 355	$f_u = 510 \text{ MPa}, f_y = 355 \text{ MPa}$
	tloušťka plechu	$t_{up} = 60 \text{ mm}$
	délka plechu	$l_{up} = 1398 \text{ mm}$
	šířka plechu	$b_{up} = 220 \text{ mm}$

Posudek plechu na napětí v ohybu v ose nosníku x

Ohybový moment

$e = 880 \text{ mm}$... excentricita normálové síly

$$M_y = V_d \cdot \left(\frac{l_{up}}{2} \right) + N_{t,d} \cdot e = 178,58 \cdot \left(\frac{1,398/2}{2} \right) + 96,19 \cdot 0,880 = 147,06 \text{ kNm}$$

Průřezový modul

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot \frac{l_{up}}{2} \cdot t_{up}^2 = \frac{1}{6} \cdot 699 \cdot 60^2 = 419400 \text{ mm}^3$$

Napětí v ohybu

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{147,06 \cdot 10^3}{419400 \cdot 10^{-9}} = 350,64 \text{ MPa} \leq f_y = 355 \text{ MPa}$$

→ **Vyhovuje**

Posudek plechu na napětí v ohybu v ose y

Ohybový moment

$$M_y = \frac{V_d}{2} \cdot \left(\frac{b_{up}/2}{2} \right) = \frac{178,58}{2} \cdot \left(\frac{0,220/2}{2} \right) = 4,91 \text{ kNm}$$

Průřezový modul

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot \frac{b_{up}/2}{2} \cdot t_{up}^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,110 \cdot 60^2 = 66000 \text{ mm}^3$$

Napětí v ohybu

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{4,91 \cdot 10^3}{66000 \cdot 10^{-9}} = 74,39 \text{ MPa} \leq f_y = 355 \text{ MPa}$$

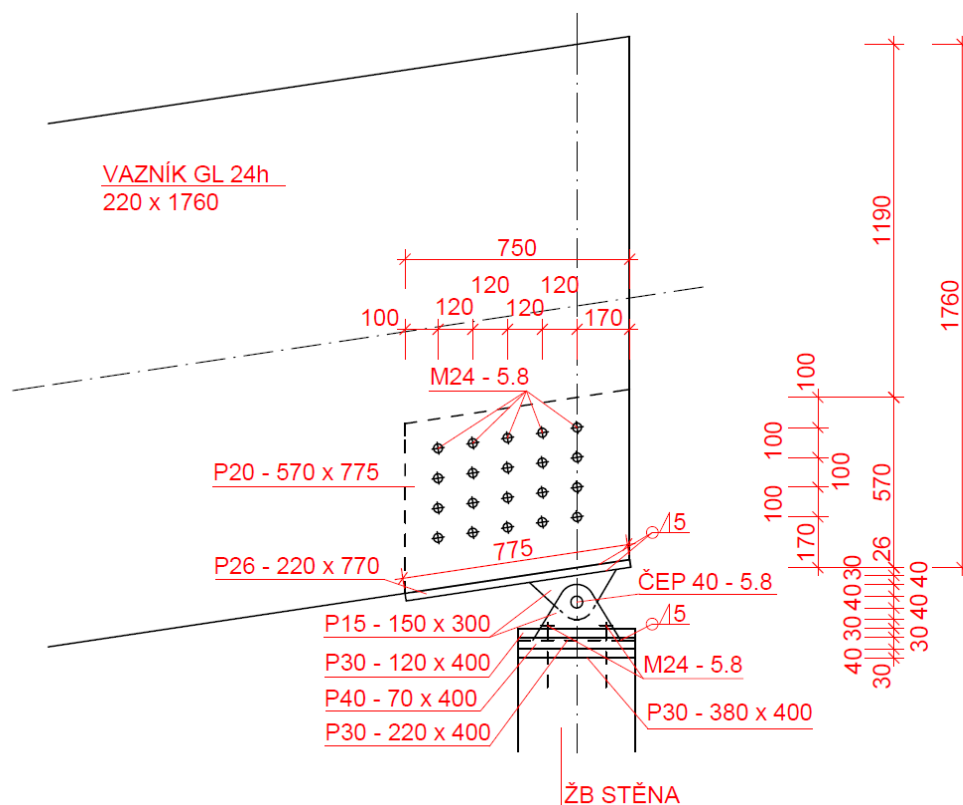
→ **Vyhovuje**

7.9.5.5 PŘÍPOJ A ULOŽENÍ VAZNÍKU NA ŽELEZOBETONOVOU NOSNOU STĚNU

Předmětem posudku je kloubový přípoj vazníku na posuvnou podporu na železobetonovou nosnou stěnu. Hlavní vazník je kloubově uložený pomocí posuvného čepového ložiska. Vazník je k ložisku kotvený 20 svorníky třídy pevnosti 5.8 o průměru 24 mm pomocí vloženého styčnickového ocelového plechu z oceli S355 tloušťky 20 mm. Čelní deska přípoje je navržena z oceli S 355 tloušťky 20 mm. Navržený čep je třídy pevnosti 5.8 o průměru 40 mm. Tloušťka čepových plechů je navržena na 15 mm. Přípoj je kotvený pomocí plechů a šroubů do nosné stěny. Veškeré plechy jsou k sobě navzájem přivařeny koutovými svary. Čepové ložisko je navrhováno na převládající tahovou a smykovou sílu od hlavního vazníku.

Přesný detail přípoje je přiložen v projektové dokumentaci.

Schéma přípoje



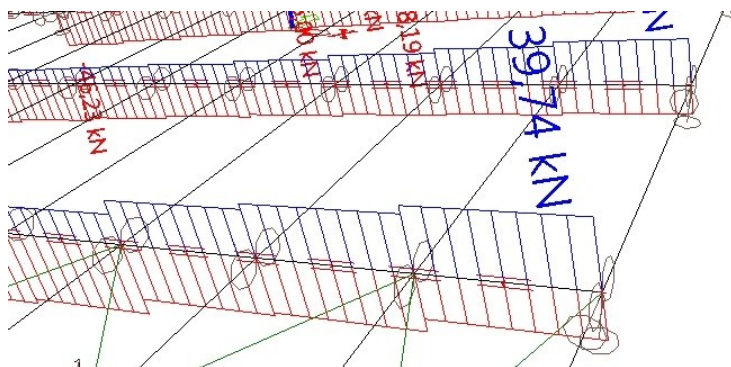
Vnitřní síly působící na přípoj

Pro výpočet je uvažována nejnepříznivější maximální hodnota vnitřních sil. Hodnoty jsou z výpočetního programu Scia Engineer. Vykreslení jednotlivých vnitřních sil působících na přípoj je přiloženo v příloze č.11.

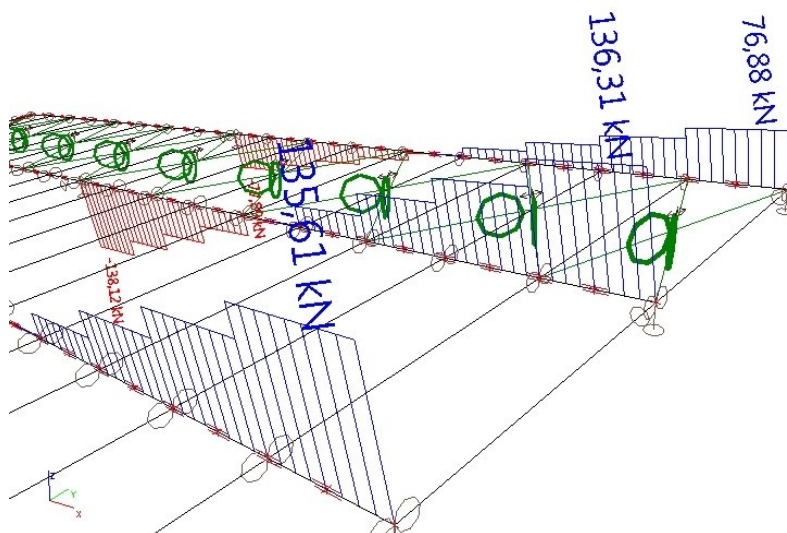
VNITŘNÍ SÍLA	HODNOTA
N_d	+ 39,74 kN
$V_{z,d}$	+ 136,31 kN

Vnitřní síly z výpočetního programu Scia Engineer

Maximální normálová síla N_d



Maximální posouvající síla $V_{z,d}$



A) NÁVRH A POSUDEK ČELNÍ DESKY A OTLAČENÍ DŘEVA OD ČELNÍ DESKY

NÁVRH ČELNÍ DESKY: ocel S 355 $f_u = 510 \text{ MPa}$, $f_y = 355 \text{ MPa}$
tloušťka čelní desky $t_d = 26 \text{ mm}$
délka čelní desky $h_d = 775 \text{ mm}$
šířka čelní desky $b_d = 220 \text{ mm}$

Plocha otláčení

$$A_d = b_d \cdot h_d = 220 \cdot 775 = 170500 \text{ mm}^2 = 0,171 \text{ m}^2$$

Napětí v tlaku kolmo na vlákna

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{V_d}{A_d} = \frac{136,31}{0,171} = 0,797 \text{ MPa} \leq f_{c,90,d} \cdot k_{90} = 1,51 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 1,0$$

→ **Vyhovuje**

Posudek čelní desky na napětí v ohybu

Ohybový moment

$$t_1 = (b - t_p) / 2 = (220 - 20) / 2 = 100 \text{ mm} \quad \dots \text{tloušťka poloviny dřevěného nosníku}$$

$$t_p = 20 \text{ mm} \quad \dots \text{navržená tloušťka vloženého styčnickového plechu}$$

$$M_y = \frac{V_d}{2} \cdot \left(\frac{t_p}{2} + \frac{t_1}{2} \right) = \frac{136,31}{2} \cdot \left(\frac{20}{2} + \frac{100}{2} \right) = 4,09 \text{ kNm}$$

Průřezový modul

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b_d \cdot h_d^2 = \frac{1}{6} \cdot 110 \cdot 26^2 = 12393,33 \text{ mm}^3$$

Napětí v ohybu

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{4,09 \cdot 10^3}{12393,33 \cdot 10^{-9}} = 330,016 \text{ MPa} \leq f_y = 355 \text{ MPa}$$

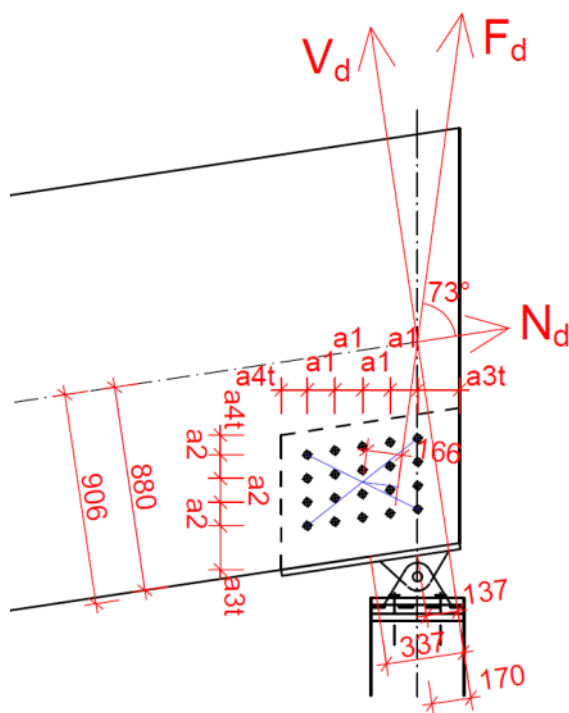
→ **Vyhovuje**

B) NÁVRH A POSUDEK SVORNÍKOVÉHO SPOJE

NÁVRH SVORNÍKU:	třída pevnosti 5.8	$f_{ub} = 500 \text{ MPa}, f_{yb} = 400 \text{ MPa}$
	průměr šroubu	$d = 24 \text{ mm}$
	průřezová plocha šroubu	$A_s = 353 \text{ mm}^2$
	navržený počet šroubů	$n = 20$
	průměr otvoru pro šroub	$d_0 = 26 \text{ mm}$
	osové vzdálenosti šroubů	$a_1 = 120 \text{ mm}$
		$a_2 = 100 \text{ mm}$
		$a_{3,t} = 170 \text{ mm}$
		$a_{4,t} = 100 \text{ mm}$
	součinitel bezpečnosti	$\gamma_{M2} = 1,25$

NÁVRH STYČNÍKOVÉHO PLECHU:	ocel S 235	$f_u = 360 \text{ MPa}, f_y = 235 \text{ MPa}$
	tloušťka plechu	$t_p = 20 \text{ mm}$
	výška plechu	$h_p = 570 \text{ mm}$
	šířka plechu	$b_p = 775 \text{ mm}$

Obrázek vzdáleností + excentricita



Působící excentricita $e = 166 \text{ mm}$

Osové vzdálenosti svorníků

$$a_1 = (4 + \cos\alpha) \cdot d = (4 + \cos 90^\circ) \cdot 24 = 96 \quad \rightarrow \text{návrh} = 120 \text{ mm}$$

$$a_2 = 4 \cdot d = 4 \cdot 24 = 96 \quad \rightarrow \text{návrh} = 100 \text{ mm}$$

$$a_{3,t} = \max(7 \cdot d = 168 \text{ mm}; 80 \text{ mm}) \quad \rightarrow \text{návrh} = 170 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = \max[(2 + 2 \cdot \sin 0^\circ) \cdot d = 96; 3 \cdot d = 72] \quad \rightarrow \text{návrh} = 100 \text{ mm}$$

Výslednice působících sil

$$F_d = \sqrt{N_d^2 + V_d^2} = \sqrt{39,74^2 + 136,31^2} = 141,98 \text{ kN}$$

Zatížení jednoho svorníku

$$F_V = \frac{F_d}{n} = \frac{141,98}{20} = 7,10 \text{ kN}$$

$$F \cdot e = 4 \cdot F_M \cdot r_1 + 4 \cdot F_M \cdot r_2 + 4 \cdot F_M \cdot r_3 + 4 \cdot F_M \cdot r_4 + 2 \cdot F_M \cdot r_5 + 2 \cdot F_M \cdot r_6$$

$$\rightarrow F_M = \frac{F_d \cdot e}{4 \cdot r_1 + 4 \cdot r_2 + 2 \cdot r_3 + 2 \cdot r_4 + 2 \cdot r_5}$$

$$F_M = \frac{141,98 \cdot 0,166}{4 \cdot 0,265 + 4 \cdot 0,179 + 4 \cdot 0,238 + 4 \cdot 0,123 + 2 \cdot 0,150 + 2 \cdot 0,050} = 6,51 \text{ kN}$$

$$F_{V,Ed} = \sqrt{F_V^2 + F_M^2} = \sqrt{7,10^2 + 6,51^2} = 9,63 \text{ kN}$$

Charakteristická pevnost v otlacení ve dřevěném prvku – předvrtané otvory

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 24) \cdot 380 = 23,68 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 380 \text{ kN/m}^3 \dots \text{ hustota dřevěného prvku}$$

$$k_{90} = 1,30 + 0,015 \cdot d = 1,30 + 0,015 \cdot 24 = 1,66$$

$$\alpha = 73^\circ \dots \text{ sklon k vláknům od výsledné síly na svorník } F_d$$

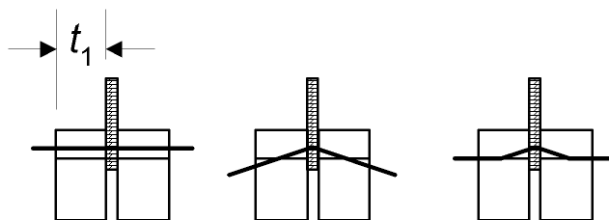
$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{23,68}{1,66 \cdot \sin^2 73^\circ \cdot \cos^2 73^\circ} = 14,77 \text{ MPa}$$

Charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{ub} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 500 \cdot 24^{2,6} = 581622 \text{ Nmm}$$

Charakteristická únosnost jednoho spojovacího prostředku

$$\text{tloušťka dřevěného prvku} \quad t_1 = (220 - t_p)/2 = (220 - 20)/2 = 100 \text{ mm}$$



Pro ocelovou desku libovolné tl. jako střední prvek dvojstřížného spoje

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,\alpha,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d} \\ f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \end{array} \right\}$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 14,77 \cdot 100 \cdot 24 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 581622}{14,77 \cdot 24 \cdot 100^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{581622 \cdot 14,77 \cdot 24} \\ 14,77 \cdot 100 \cdot 24 \end{array} \right\}$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 35,44 \text{ kN} \\ 22,32 \text{ kN} \\ 33,02 \text{ kN} \end{array} \right\}$$

$$F_{v,Rk} = 22,32 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{22,32}{1,25} = 12,50 \text{ kN}$$

Účinný počet svorníků v řadě rovnoběžně s vlákny

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 5 \\ 5^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{120}{13 \cdot 24}} = 3,35 \end{array} \right\}$$

$$n_{ef,0^\circ} = 3,35 \quad \rightarrow \text{pro 4 řady } n_{ef,0^\circ} = 4 \cdot 3,35 = 13,40$$

$$n_{ef,90^\circ} = n = 15$$

$$n_{ef,73^\circ} = 18,75 \quad \rightarrow \text{interpolace mezi } n_{ef,90^\circ} \text{ a } n_{ef,0^\circ}$$

Posouzení únosnosti svorníků

$$F_{v,Ed} \cdot n = 9,63 \cdot 20 = 192,6 \text{ kN} \quad \leq F_{v,Rd} \cdot n_{ef} = 12,50 \cdot 18,75 = 234,38 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

Únosnost svorníku ve střihu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 500 \cdot 353}{1,25} = 70,60 \text{ kN (1 šroub)}$$

$$\alpha_v = 0,5 \dots \text{ pro šrouby 5.8}$$

$$F_{v,Rd} = 70,60 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 9,63 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

Posouzení únosnosti styčnickového plechu v otláčení

$$a_b = \min \left[\begin{array}{c} 1,0 \\ \frac{f_{u,b}}{f_u} \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 1,0 \\ \frac{500}{510} \\ \frac{170}{3 \cdot 26} \\ \frac{100}{3 \cdot 26} - \frac{1}{4} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 1,0 \\ 0,98 \\ 2,18 \\ 1,03 \end{array} \right] = 0,98$$

$$k_1 = \min \left[\begin{array}{c} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{170}{26} - 1,7 \\ 1,4 \cdot \frac{120}{26} - 1,7 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 2,5 \\ 16,61 \\ 4,76 \end{array} \right] = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,98 \cdot 510 \cdot 10^6 \cdot 24 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 479,81 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 479,81 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 9,63 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

C) NÁVRH A POSUDEK KOUTOVÉHO SVARU PÍPOJE ČELNÍ DESKY SE STYČNÍKOVÝM PLEHCEM

NÁVRH SVARU:	účinná výška svaru	$a = 5 \text{ mm}$
	účinná délka svaru	$l = 775 \text{ mm}$
	tloušťka čelní desky	$t_d = 26 \text{ mm}$
	tloušťka styčnickového plechu	$t_p = 20 \text{ mm}$
	ocel S355	$f_u = 510 \text{ MPa}$

Působící excentricita	$e_1 = 337 \text{ mm}$
	$e_2 = 880 \text{ mm}$
Průřezová plocha svaru	$A_w = 2 \cdot l \cdot a = 2 \cdot 775 \cdot 5 = 7750 \text{ mm}^2$

Složky napětí

$$\tau_{||} = \frac{N_d}{A_w} = \frac{39,74 \cdot 10^3}{7750} = 5,13 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{V_d \cdot e_1}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2} - \frac{N_d \cdot e_2}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2} = \frac{136,31 \cdot 10^3 \cdot 0,337}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 0,005 \cdot 0,775^2} - \frac{39,74 \cdot 10^3 \cdot 0,880}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 0,005 \cdot 0,775^2} = |10,95 \text{ MPa}|$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{10,95}{\sqrt{2}} = 7,74 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru

$$\sigma_{\perp} = 7,74 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{510}{1,25} = 408 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{||}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{7,74^2 + 3 \cdot (7,74^2 + 5,13^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$17,85 \text{ MPa} \leq 453 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

D) NÁVRH A POSUDEK ČEPOVÉHO LOŽISKA

NÁVRH ČEPU:	třída pevnosti	5.8
	pevnosti čepu	$f_{up} = 500 \text{ MPa}$, $f_{yp} = 400 \text{ MPa}$
	součinitel bezpečnosti	$\gamma_{M0} = 1,0$
		$\gamma_{M2} = 1,25$
NÁVRH ČEPOVÝCH PLECHŮ:	ocel S355	$f_u = 510 \text{ MPa}$, $f_y = 355 \text{ MPa}$

Působící síla na čep

$$F_{v,Ed} = \sqrt{N_d^2 + V_d^2} = \sqrt{39,74^2 + 136,31^2} = 141,98 \text{ kN}$$

Návrh tloušťky plechu

$$t_{p,1} \geq 0,7 \cdot \sqrt{\frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{141,98 \cdot 1,0}{355 \cdot 10^3}} = 14,00 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{návrh } t_{p,1} = 15 \text{ mm}$$

$$t_{p,2} = 2 \cdot t_{p,1} = 2 \cdot 15 \text{ mm}$$

Vzdálenost mezi plechy

$$t_{p,3} = 2 \text{ mm}$$

Návrh průměru čepu

$$d_0 \leq 2,5 \cdot t_{p,1} = 2,5 \cdot 15 = 37,5 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{návrh } d_0 = 40 \text{ mm}$$

Geometrie průřezu

$$a \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{141,98 \cdot 1,0}{2 \cdot 0,015 \cdot 355 \cdot 10^3} + \frac{2 \cdot 0,040}{3} = 40,00 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{návrh } a = 40 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{141,98 \cdot 1,0}{2 \cdot 0,015 \cdot 355 \cdot 10^3} + \frac{0,040}{3} = 26,7 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{návrh } c = 30 \text{ mm}$$

Plocha průřezu

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 40^2}{4} = 1256,64 \text{ mm}^2$$

Únosnost čepu ve střihi

$$F_{v,Rd} = 0,6 \cdot \frac{A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = 0,6 \cdot \frac{1256,64 \cdot 10^{-6} \cdot 500 \cdot 10^3}{1,25} = 301,59 \text{ kN} \quad \geq F_{v,Ed} = 141,98 \text{ kN}$$

→ **Vyhovuje**

Únosnost čepu a plechu v otlačení

$$F_{b,Rd} = 1,5 \cdot t_1 \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 0,015 \cdot 0,040 \cdot \frac{355 \cdot 10^3}{1,0} = 319,50 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 319,50 \text{ kN} \quad \geq F_{v,Ed} = 142,97 \text{ kN}$$

→ **Vyhovuje**

$$F_{b,Rd} = 1,5 \cdot 2 \cdot t_2 \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 2 \cdot 0,015 \cdot 0,040 \cdot \frac{355 \cdot 10^3}{1,0} = 639,00 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 639,00 \text{ kN} \quad \geq F_{v,Ed} = 141,98 \text{ kN}$$

→ **Vyhovuje**

Únosnost čepu v ohybu

$$W_0 = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 40^3}{32} = 6283,19 \text{ mm}^3$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{v,Ed}}{8} \cdot (t_1 + 2 \cdot t_2 + 4 \cdot t_3) \leq M_{Rd} = 1,5 \cdot W_0 \cdot \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{Ed} = \frac{141,98}{8} \cdot (0,015 + 2 \cdot 0,015 + 4 \cdot 0,002) \leq M_{Rd} = 1,5 \cdot 6283,19 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{400 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$0,94 \text{ kNm}$$

$$\leq 3,77 \text{ kNm}$$

→ **Vyhovuje**

Únosnost čepu při kombinaci stříhu a ohybu

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1$$

$$\left(\frac{0,94}{3,77}\right)^2 + \left(\frac{141,98}{301,59}\right)^2 \leq 1$$

$$0,28 \leq 1$$

→ **Vyhovuje**

E) NÁVRH A POSUDEK KOUTOVÉHO SVARU ČEPOVÉHO PLECHU t_1 K ČELNÍ DESCE

NÁVRH SVARU: účinná výška svaru

$$a = 5 \text{ mm}$$

účinná délka svaru

$$l = 300 \text{ mm} \geq 6 \cdot a = 6 \cdot 5 = 30 \text{ mm}$$

$$\geq 30 \text{ mm}$$

tloušťka čelní desky

$$t_d = 26 \text{ mm}$$

tloušťka čepového plechu

$$t_1 = 15 \text{ mm}$$

ocel S235

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

Působící excentricita

$$e_1 = 137 \text{ mm}$$

$$e_2 = 906 \text{ mm}$$

Průřezová plocha svaru

$$A_w = 2 \cdot l \cdot a = 2 \cdot 300 \cdot 5 = 3000,00 \text{ mm}^2$$

Složky napětí

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_d}{A_w} = \frac{39,74 \cdot 10^3}{3000,00} = 13,25 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{V_d \cdot e_1}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2} - \frac{N_d \cdot e_2}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2} = \frac{136,31 \cdot 10^3 \cdot 0,137}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 0,005 \cdot 0,300^2} - \frac{39,74 \cdot 10^3 \cdot 0,906}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 0,005 \cdot 0,300^2} = |115,53 \text{ MPa}|$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{115,53}{\sqrt{2}} = 81,69 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru

$$\sigma_{\perp} = 81,69 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{510}{1,25} = 408 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{81,69^2 + 3 \cdot (81,69^2 + 13,25^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$164,98 \text{ MPa} \leq 453 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

F) NÁVRH A POSUDEK KOUTOVÉHO SVARU PŘÍPOJE ČEPOVÝCH PLECHŮ t_2 K PATNÍMU PLECHU

NÁVRH SVARU:	účinná výška svaru	$a = 5 \text{ mm}$
	účinná délka svaru	$l = 300 \text{ mm} \geq 6 \cdot a = 6 \cdot 5 = 30 \text{ mm}$ $\geq 30 \text{ mm}$
	tloušťka patního plechu	$t_{pp} = 20 \text{ mm}$
	tloušťka čepového plechu	$t_2 = 15 \text{ mm}$
	ocel S235	$f_u = 360 \text{ MPa}$

Působící excentricita	$e_1 = 170 \text{ mm}$
	$e_2 = 1125 \text{ mm}$

Průřezová plocha svaru $A_w = 2 \cdot l \cdot a = 2 \cdot 300 \cdot 5 = 3000,00 \text{ mm}^2$

Posouvající a normálová síla vznikající ve svaru jednoho čepového plechu t_2

$$V_{d,n} = \frac{V_d}{2} = \frac{136,31}{2} = 68,16 \text{ kN}$$

$$N_{d,n} = \frac{N_d}{2} = \frac{39,74}{2} = 19,87 \text{ kN}$$

Složky napětí

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{d,n}}{A_w} = \frac{19,87 \cdot 10^3}{3000,00} = 6,62 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{V_d \cdot e_1}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2} - \frac{N_d \cdot e_2}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2} = \frac{68,16 \cdot 10^3 \cdot 0,170}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 0,005 \cdot 0,300^2} - \frac{19,87 \cdot 10^3 \cdot 1,125}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 0,005 \cdot 0,300^2} = |71,78 \text{ MPa}|$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{71,78}{\sqrt{2}} = 50,75 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru

$$\sigma_{\perp} = 50,75 \text{ MPa}$$

$$\leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{510}{1,25} = 408 \text{ MPa}$$

→ **Vyhovuje**

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)}$$

$$\leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{50,75^2 + 3 \cdot (50,75^2 + 6,62^2)}$$

$$\leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$102,15 \text{ MPa}$$

$$\leq 453 \text{ MPa}$$

→ **Vyhovuje**

8 ZÁVĚR

Jak je popsáno v úvodní části, cílem diplomové práce byl návrh bazénové haly, jak po stránce dispoziční a provozní, tak po stránce statické. Na základě získaných rešerší stávajících staveb a z poznatků platných norem, vyhlášek a předpisů, bylo navrženo půdorysné schéma objektu. Z teoretického rozboru nosných konstrukcí zastřešení hal byl vypracován konstrukční systém zastřešení bazénové haly. Nosné prvky byly navrženy z dřevěných materiálů a materiálů na bázi dřeva, zejména pak z lepeného lamelového dřeva. Celá konstrukce zastřešení bazénové haly byla vymodelována jako prostorový model v programu Scia Engineer. Pomocí výstupů z výpočetního programu byl v hlavní části diplomové práce proveden návrh a statický posudek jednotlivých konstrukčních prvků včetně jejich spojů a ztužujících konstrukcí z hlediska mezních stavů únosnosti a použitelnosti. Při návrhu a statickém posudku byly použity platné normy, vyhlášky a předpisy.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucí mé diplomové práce Ing. Kristýně Vavrušové, Ph.D. a konzultantovi Ing. Davidu Mikoláškoví, Ph.D. za odborné vedení a pomoc při zpracování této diplomové práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ODKAZŮ

- [1] KOLB, Josef. *Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště*. 1. vyd. Překlad Bohumil Koželouh. Praha: Grada, 2008, 317 s. ISBN 978-80-247-2275-7.
- [2] ŠTEFKO, Jozef, Ladislav REINPRECHT a Petr KUKLÍK. *Dřevěné stavby: konstrukce, ochrana a údržba*. 2. čes. vyd. Překlad Zlatuše Braunšteinová. Bratislava: Jaga, 2009, 196 s. ISBN 978-80-8076-080-92009.
- [3] [cit. 2013-09-28]. Dostupné z: <http://15123.fa.cvut.cz/?page=cz,pozemni-stavitelstvi-ii>
- [4] Vlastní fotografie
- [5] [cit. 2013-10-06]. Dostupné z: <http://www.archiweb.cz/buildings.php?&action=show&id=2814>
- [6] [cit. 2013-10-12]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Aquapalace_Praha
- [7] [cit. 2013-10-12]. Dostupné z: <http://www.konstrukce-tesko.cz/reference/plavecke-bazeny/aquapalace-cestlice-u-prahy>
- [8] [cit. 2013-10-12]. Dostupné z: <http://www.stopin-praha.cz/blog/aquapalace-praha>
- [9] [cit. 2013-10-12]. Dostupné z: <http://www.turistik.cz/cz/kraje/olomoucky-kraj/okres-prerov/hranice-okres-prerov/plovarna-hranice-aquapark-bazen-koupaliste/galerie/>
- [10] [cit. 2013-10-12]. Dostupné z: <http://www.bazeny.centroprojekt.cz/reference/venkovni-aquaparky-a-koupaliste/koupaliste-v-hranicich-na-morave.htm>
- [11] [cit. 2013-10-12]. Dostupné z: <http://www.archiweb.cz/buildings.php?&action=show&id=2580>
- [12] [cit. 2013-10-12]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/konstrukce-a-prvky/drevene-konstrukce/konstrukce-bazenove-haly-v-brne-kohoutovicich-1741.html>
- [13] [cit. 2013-10-12]. Dostupné z: <http://www.konstrukce-tesko.cz/reference/plavecke-bazeny/bazen-kohoutovice-v-brne>
- [14] [cit. 2013-10-12]. Dostupné z: <http://www.kravihora-brno.cz/bazeny/kryta-hala/kryta-hala>
- [15] [cit. 2013-10-13]. Dostupné z: <http://www.jura.tenzor.cz/jura/diplom.htm>
- [16] NEUFERT, Ernst. *Navrhování staveb: zásady, normy, předpisy o zařízeních, stavbě, vybavení, nárocích na prostor, prostorových vztazích, rozměrech budov, prostorech, vybavení, přístrojích z hlediska člověka jako měřítka a cíle : příručka pro stavební odborníky, stavebníky, vyučující i studenty*. 2. české vyd., (35. něm. vyd.). Praha: Consultinvest, 2000, 618 s. ISBN 80-901-4866-2.
- [17] [cit. 2013-10-22]. Dostupné z: <http://www.robatherm.com/de/system/files/robatherm>

_swimmingpools_cze.pdf

- [18] ŠŤASTNÝ, Bohumil. *Stavba a provoz bazénů*. 1. vyd. Praha: ABF, 2003, 137 s. ISBN 80-861-6556-6.
- [19] NOVOTNÝ, Jiří, šéfredaktor. *Časopis: Světlo*. 2. vyd. Praha: FCC Public, 2008.
- [20] *Dřevěné konstrukce podle eurokódu 5: navrhování a konstrukční materiály*. Vyd. 1. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2004, 401 s. ISBN 80-867-6913-5.
- [21] [cit. 2013-10-27]. Dostupné z: <http://www.silvarium.cz/lesnicka-prace-c-11-10/lepene-lamelove-drevo>
- [22] KUČERA, Jiří, šéfredaktor. *Časopis: Stavitel*. 9. vyd. Praha: Economia, 2009.
- [23] [cit. 2013-10-27]. Dostupné z: http://www.hasslacher.sk/Lepene_drevo.html
- [24] [cit. 2013-11-19]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz>
- [25] [cit. 2013-09-17]. Dostupné z: http://www.chmi.cz/portal/dt?menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_13_Mapa_zatizeni_snehem
- [26] ČSN EN 1991-1-4. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha: ČNI, 2007.
- [27] [cit. 2013-11-04]. Dostupné z: <http://www.tension.cz/produkty-tahla.php>

SEZNAM POUŽITÝCH NOREM

ČSN EN 1990. *Eurokód 1: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: ČNI, 2004.

ČSN EN 1995-1-1. *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: ČNI, 2006.

ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: ČNI, 2004.

ČSN EN 1991-1-3. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Praha: ČNI, 2005.

ČSN EN 1991-1-4. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha: ČNI, 2007.

ČSN EN 1993-1-8. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků*. Praha: ČNI, 2006.

POUŽITÝ SOFTWARE

Microsoft Word
Microsoft Excel
Scia Engineer 2013
ArchiCad 15 (studentská verze)
AutoCad 2013
Artlantis Studio
Adobe Photoshop CS5
SketchUp
PDF24 Editor

SEZNAM VÝKRESŮ

Výkres č. 1: Půdorys 1. NP
Výkres č. 2: Půdorys 2. NP
Výkres č. 3: Řez
Výkres č. 4: Pohledy
Výkres č. 5: Výkres konstrukčních prvků
Výkres č. 6: Detail č. 1 – Přípoj vaznic a táhel k vazníku
Výkres č. 7: Detail č. 2 – Přípoj vazníku na ŽB patku
Výkres č. 8: Detail č. 3 – Uložení vazníku na ŽB stěnu
Výkres č. 9: Detail č. 4 – Přípoj dvou vazníků a jejich uložení

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Zatěžovací stavy na střešní konstrukci z Programu Scia Engineer
Příloha č. 2: Vnitřní síly působící ve střešní vaznici + hodnoty okamžitého průhybu
Příloha č. 3: Vnitřní síly působící v krajní vaznici + hodnoty okamžitého průhybu
Příloha č. 4: Vnitřní síly působící ve vazníku + hodnoty okamžitého průhybu
Příloha č. 5: Vnitřní síly působící ve ztužujícím táhle

- Příloha č. 6: Vnitřní síly působící ve ztužující rozpěře + hodnoty okamžitého průhybu
- Příloha č. 7: Výsledné reakce v podporách
- Příloha č. 8: Schéma přípoje vaznice na vazník
- Příloha č. 9: Schéma přípoje táhla na vazník
- Příloha č. 10: Technické listy